

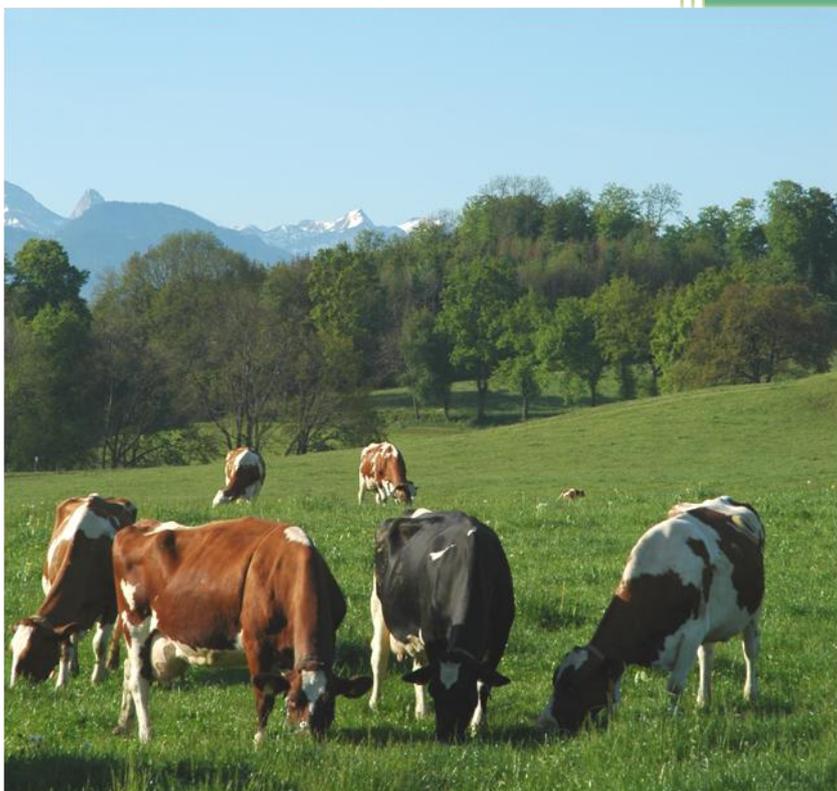
Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft



Agroscope Liebefeld-Posieux

2011

Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh)



Annelies Bracher

SHL, Agroscope

Begleitende Experten:

Patrick Schlegel, Andreas Mürger,
Walter Stoll, Harald Menzi

Vorwort

Für die Reduktion der Ammoniakverluste auf Landwirtschaftsbetrieben gibt es keine Patentrezepte. Meist führt nur eine Kombination verschiedener sich ergänzender Massnahmen zu einer deutlichen Reduktion der Verluste bzw. Emissionen. Besonders effektiv und sinnvoll sind Massnahmen, welche das Emissionspotenzial verringern, indem sie den Stickstofffluss reduzieren. Die Fütterung kann somit unter anderem zur Emissionsminderung beitragen, indem sie durch die Vermeidung von Proteinüberschüssen und bei Wiederkäuern durch die Abstimmung des ruminalen Energie/Proteinverhältnisses die Stickstoffausscheidungen minimiert. Massnahmen, die am Ende des Hofdüngerstoffflusses ansetzen, also dort, wo die tierischen Exkremete auf den Boden kommen, sind das zweite Standbein von Reduktionsstrategien. Zum Beispiel bei Weidegang versickert der Harn rasch und direkt im Boden, so dass eine Ammoniakbildung und –verflüchtigung stark eingeschränkt wird. Beim Rindvieh sind allerdings Fütterungsmassnahmen wegen der variablen und nur beschränkt beeinflussbaren Proteingehalte des Grundfutters eine grössere Herausforderung als in der Schweine- oder Geflügelhaltung. Deshalb ist es schwierig, deren Wirkung exakt vorauszusagen. Das Projekt "Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh" hatte zum Ziel, einen Überblick zum Wissensstand zu liefern und darauf aufbauend die Möglichkeiten und Grenzen der Berücksichtigung von Fütterungsmassnahmen beim Milchvieh in Ressourcenprogrammen aufzuzeigen.

Dank der engen Zusammenarbeit zwischen der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft (SHL) und Agroscope Liebefeld-Posieux (ALP) konnten die Schweizer Kompetenzen zu Fütterung und Ammoniak-Emissionsberechnungen gebündelt und die Literaturübersicht mit der Auswertung von verschiedenen Datensätzen aus Versuchen und Modellrechnungen ergänzt werden. Allen Beteiligten herzlichen Dank! Das Projekt wurde unterstützt durch das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW).

Projektleitung: Harald Menzi, SHL

Verfasserin der Studie: Annelies Bracher, SHL und ALP

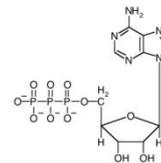
Begleitende Experten: Patrick Schlegel, ALP
Andreas Mürger, ALP
Walter Stoll, ALP
Harald Menzi, SHL

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
Formeln zur Proteinbewertung	6
Umrechnungsfaktoren	6
1. Einleitung	7
1.1. Agrarökologischer und produktionstechnischer Hintergrund	7
1.2. Milchviehstudie: emissionsmindernde Fütterungsstrategien und Indikatoren	14
2. Emissionsmindernde Fütterung und Indikatoren: eine Literaturrecherche	15
2.1. Proteinstoffwechsel der Milchkuh	16
2.2. Indikatoren und Schätzgleichungen	26
2.3. Milchwahnstoff	42
2.3.1. Beziehungen und Anwendungsbereich	42
2.3.2. Laktationsstadium, Milchleistung	45
2.3.3. Saisoneinfluss	47
2.3.4. Zone, Betrieb, Herde, Genetik	50
2.3.5. Analytik	52
2.3.6. RP-Gehalt, N-Aufnahme, NEL-Bilanz, APD-Bilanz, RNB_{CH}	55
2.3.7. Milchwahnstoff und Ammoniakemissionen	59
2.4. Fütterungsmassnahmen	64
2.4.1. Allgemeingültige Grundsätze	64
2.4.2. Massnahmen Grünfütterung (Sommerfütterung)	68
2.4.3. Gesamtbetrieblicher Ansatz	76
3. Schweizerische Fütterungsversuche und Evaluation der Schätzgleichungen	79
4. Modellrechnungen zu N-Ausscheidungen und NH_3 -Emissionen	91
4.1. N-Ausscheidungen	91
4.2. Einfluss der Ration auf die NH_3 -Emissionen	100
5. Synthese und Empfehlungen	105
5.1. Zusammenfassende Erkenntnisse	105
5.2. Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh in kantonalen Ressourcenprogrammen	113
5.3. Forschungsbedarf	116
6. Literatur	118

Abkürzungsverzeichnis

a	Abbaubarkeit
Agrammon	Simulationsmodell zur Berechnung der Ammoniakemissionen (2009) als Nachfolgemodell von DYNAMO
AMIS, AA	Aminosäuren
APDE	absorbierbares Protein am Darm aus verfügbarer Energie
APDN	absorbierbares Protein am Darm aus abgebautem Rohprotein
aRP	Abbaubarkeit des Rohproteins gemäss in-situ Methode (Nylon bag Methode)
ASF	aus dem Futter stammende Aminosäuren
ASM	mikrobielle Aminosäuren
ATP	Adenosintriphosphat, Form der auf Zellebene verfügbaren Energie
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
BUN	Blood Urea Nitrogen
C	Kohlenstoff
DF	Dürrfutter
DIM	Days in Milk
ECM	Energie korrigierte Milch
Ef	Ergänzungsfutter
EKL	Eidgenössische Kommission für Lufthygiene
FP	Fermentationsprodukte in Silagen
FOS	fermentierbare organische Substanz
GS	Grassilage
GVE	Grossvieheinheit
Kf	Kraftfutter
KOLAS	Konferenz der Landwirtschaftsämer der Schweiz
KON	Kontrolle
LG	Lebendgewicht
Lys	Lysin
ME	umsetzbare Energie
Met	Methionin
MO	Mikroorganismen



MPP	Milchproduktionspotential
MS	Maissilage
MUN	Milk Urea Nitrogen
MUC	Milk Urea Concentration
MW	Maiswürfel
N	Stickstoff
N-Eff	N-Effizienz
NDF	Neutral Detergent Fiber
NEL	Nettoenergie Laktation
NFC	Non Fiber Carbohydrates
NH ₃ -N	Ammoniak-Stickstoff
NH ₄ ⁺ -N	Ammonium-Stickstoff
NPN	Nicht Protein Stickstoff
NPr	N- und P-reduziert
NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharide
nXP	nutzbares Protein am Dünndarm nach deutschem Proteinbewertungssystem
P	Phosphor
OEB	ruminale Proteinbilanz nach holländischem Proteinbewertungssystem
OS	organische Substanz
PME	MO-Protein, das aus fermentierbarer Energie aufgebaut werden kann
PMN	MO-Protein, das aus dem abbaubaren Rohprotein aufgebaut werden kann
PUN	Plasma Urea Nitrogen
RA	Rohasche
Reg	Regression
RF	Rohfaser
RL	Rohlipide
RMSE	Root Mean Square Error
RNB	ruminale N-Bilanz nach deutschem Proteinbewertungssystem
RNB _{CH}	PMN-PME, ruminale Proteinbilanz nach schweiz. Proteinbewertungssystem (entspricht dem holländischen und franz. System)
RDP	Rumen Degradable Protein Balance = OEB
RP	Rohprotein
ST	Stärke

TAN	Total Ammonical Nitrogen ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$)
TMR	Totalmischration
TNC	Total Nonstructural Carbohydrates
TS	Trockensubstanz
TSV	Trockensubstanzverzehr
UDP	unabgebautes Rohprotein
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
UUC	Urinary Urea Concentration
UUN	Urinary Urea Nitrogen
v	Verdaulichkeit
vASF	Verdaulichkeit der aus dem Futter stammenden Aminosäuren
VEM	holländische Futtereinheit für Milchvieh: $1000 \text{ VEM} = \text{NEL}(\text{MJ})/6.9$
VOS	verdauliche organische Substanz
WSC	Water Soluble Carbohydrates (Zucker)
WFT	Weidefüttertage
ZRS	Zuckerrübenschnitzel

Formeln zur Proteinbewertung

Schweiz:

$$\begin{aligned} \text{FOS g/kg TS} &= \text{VOS} - \text{RP} * (1 - \text{aRP}/100) - \text{RL} - \text{ST} * (1 - \text{aST}/100) - \text{FP}/2 \\ \text{PMN g/kg TS} &= \text{RP} * [1 - \{1.11 * (1 - \text{aRP}/100)\}] \\ \text{PME g/kg TS} &= 0.145 * \text{FOS} \\ \text{APDE g/kg TS} &= 0.093 * \text{FOS} + \text{RP} * (1.11 * [1 - \text{aRP}/100]) * \text{vASF}/100 \\ \text{APDN g/kg TS} &= \text{RP} * (\text{aRP}/100 - 0.10) * 0.64 + \text{RP} * (1.11 * [1 - \text{aRP}/100]) * \text{vASF}/100 \end{aligned}$$

Holland, Deutschland:

$$\begin{aligned} \text{OEB g/kg TS} &= \{\text{RE} * (1 - 1.11 * \text{BRE}/100)\} - \{\text{FOS} * 0.150\}; \text{ BRE} = 1 - \text{aRP}/100 \\ \text{RNB g/kg TS} &= (\text{XP} - \text{nXP})/6.25 \\ \text{nXP g/kg TS} &= (187.7 - [115.4 * (\text{UDP}/\text{XP})] * \text{DOS} + 1.03 * \text{UDP}) \end{aligned}$$

Umrechnungsfaktoren

$$\text{NH}_3 \text{ g} \rightarrow * 0.824 = \text{g N}; \text{ N g} \rightarrow * 1.214 = \text{g NH}_3$$

$$\text{Harnstoff g} \rightarrow * 0.466 = \text{g N}; \text{ N g} \rightarrow * 2.144 = \text{g Harnstoff}$$

$$\text{Harnstoff: } 60.06 \text{ g/mol}$$

$$\text{NH}_3: 17.03 \text{ g/mol}$$

1. Einleitung

1.1. Agrarökologischer und produktionstechnischer Hintergrund

Die effiziente Nutzung von Ressourcen und Rohstoffen ist auch in der mittelfristigen Agrarpolitik als Ziel verankert (Medienmitteilung EVD 17.9.2010). Im Bereich Stickstoff wird eine Effizienzsteigerung über reduzierte N-Emissionen angestrebt. N-Emissionen umfassen Nitrat, Lachgas, Ammoniak und elementaren Stickstoff (N_2). Das Auftreten dieser N-Formen beruht zwar auf natürlichen Prozessen innerhalb des N-Kreislaufes, aber mit der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion gerät der Kreislauf aus dem Gleichgewicht verbunden mit vermehrten Nährstoffverlusten (Tamminga 2003; EPMAN 2009, Abb.1).

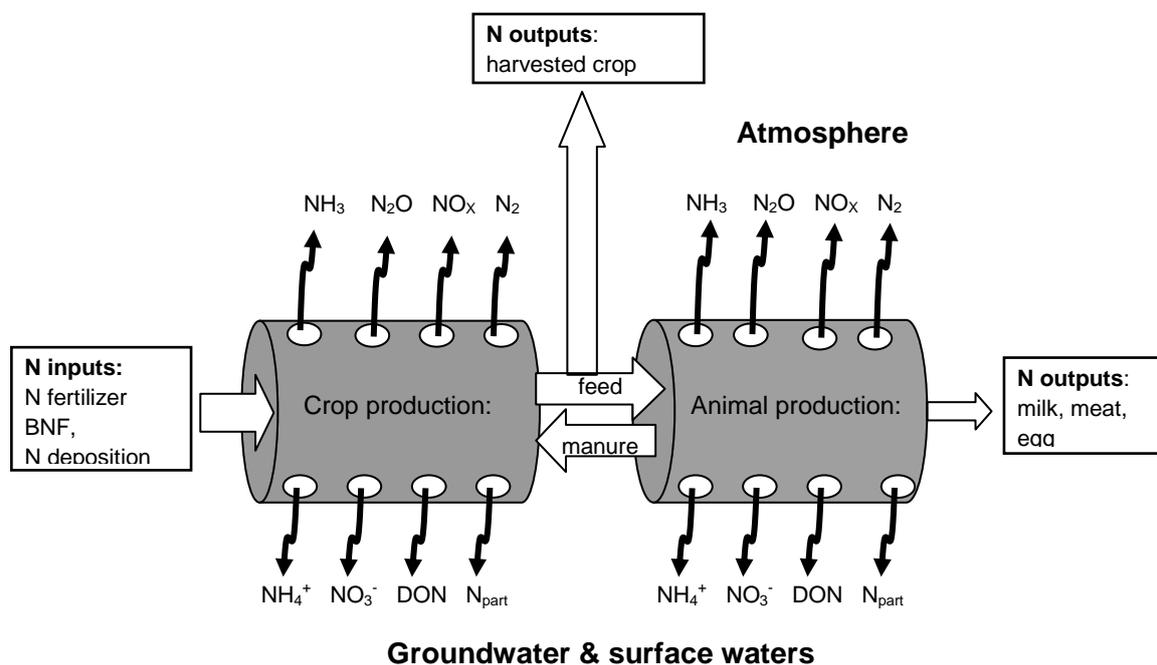


Abbildung 1. Leitungslochmodell: N-Input, N-Output, N-Emissionen (nach Oenema zitiert in EPMAN, 2009)

Gemäss einer Schätzung von Peter (2006) trägt Ammoniak 42 % zum gesamten N-Verlustpotenzial bei. Ammoniak gehört zu jenen reaktiven N-Verbindungen, die als Luftschadstoffe in zu hoher räumlicher und zeitlicher Konzentration umweltbelastend sind (EKL, Eidg. Kommission für Lufthygiene, 2005). Im Göteborg-Protokoll (Konvention über weiträumige, grenzüberschreitende Luftverunreinigung, UNECE) wurden für jedes unterzeichnende Land, darunter die Schweiz, Reduktionsziele festgelegt mit dem längerfristigen Ziel, die **Critical Loads** für Stickstoff nicht zu überschreiten. Zur Einhaltung der Critical Loads müssen die Ammoniakemissionen aus der schweiz. Landwirtschaft von gegenwärtig 48 kt NH_3 -N auf rund 25 kt NH_3 -N gesenkt werden (BAFU und BLW, 2008). Die

Umsetzung erfolgt im Rahmen des Vollzuges der Luftreinhalteverordnung (LRV) und agrarpolitischen Programmen. 85 % der gesamten **Ammoniakemissionen** stammen aus der **Tierhaltung** und entstehen im Stall, während der Hofdüngerlagerung, auf der Weide und bei der Ausbringung (Achermann et al. 2009). Handlungsbedarf ergibt sich daraus insbesondere in tierdichten Regionen. Seit 2008 kann der Bund Massnahmen zur Senkung von Ammoniak-Emissionen in den Kantonen in Form von befristeten Anschubfinanzierungen unterstützen (Ressourcenprogramm, Art. 77a und 77b LwG). In tierdichten Kantonen sind Projekte zur Reduktion der Ammoniakemissionen und dem effizienteren Einsatz von Stickstoff lanciert worden. Dabei werden hauptsächlich Massnahmen im Bereich Lagerung und Ausbringung von Hofdünger abgegolten.

Die Entschädigung einer **N-optimierten Fütterung** als Begin-of-Pipe Massnahme ist in mehreren Kantonen als Option vorgesehen. Als N-haltige Verbindung ist **Ammoniak** eng mit dem N-Umsatz in tierischen Organismen verflochten. Direkter Vorläufer von Ammoniak ist der **Harnstoff**, der als Hauptbestandteil der Harn-N-Fractionen im Harn von Säugetieren ausgeschieden wird (bei Geflügel Harnsäure). In Kontakt mit verschmutzten Oberflächen oder Kot und dem nahezu ubiquitär vorkommenden mikrobiellen Enzym **Urease** wird Harnstoff rasch in Ammoniak umgewandelt. Die **tierischen Exkrememente** sind somit mengenmässig das wichtigste Ausgangssubstrat der Ammoniakbildung. Dabei bestimmt der relative Harnanteil am Kot-Harnmisch bzw. die initiale Harnstoffkonzentration die Ammoniakmenge, die potentiell emittiert werden kann. Die eigentliche Ammoniakfreisetzung wird durch physikalisch-chemische Faktoren wie Dissoziationsgleichgewicht des gelösten Ammoniak (pH-abhängig), Partialdruckdifferenz der Exkrement-Atmosphäregrenzschicht, Oberfläche, Luftströmung und Temperatur bestimmt (Hartung, 2002; Huijsmans, 2003). Stallkonstruktion, Entmistungsroutine, Güllelagerung und Ausbringtechnik haben vorab eine Wirkung auf die physikalischen Parameter (Zähler et al 2005, Schrade 2009), während der Hofdüngertyp und die Fütterung die N- und Harnstoffausscheidungen, den Harn- bzw. Kotanteil und deren Zusammensetzung und davon abgeleitete Güllecharakteristika (TS-Gehalt, C:N-Verhältnis, TAN-Gehalt, org. N:anorg. N, pH) entscheidend beeinflussen (Flückiger 1989, Külling 2000, Reijs 2007).

Die Protein- bzw. N-Konzentration der Ration und die Aminosäurezusammensetzung haben bei **monogastrischen Tieren** einen direkten Einfluss auf die quantitative und qualitative N-Ausscheidung. Eine erste Studie von SHL und ALP im Auftrag des BLW zu den Möglichkeiten der Reduktion von Ammoniakemissionen bei Schweinen durch Fütterungsmassnahmen wurde Ende 2009 abgeschlossen (Bracher und Spring 2010). Die Autoren haben basierend auf einer Umfrage bei Futtermühlen und Auswertungen von Import/Export-Bilanzen im Rahmen des ÖLN eine Standortbestimmung zur Schweinefütterung gemacht. Verschiedene mögliche

Massnahmen zur Emissionsminderung wurden evaluiert und das Reduktionsminderungspotential diskutiert. Durch den konsequenten Einsatz von NPr-Futter, Phasenfütterung bei Mastschweinen und Zuchtsauen sowie Absenkung des Proteingehaltes in Galtsauenrationen könnten die auf die Schweinehaltung zurückgehenden Ammoniakemissionen erheblich reduziert werden. Allerdings wurden zwischen verschiedenen Betrieben bei gleichem RP-Gehalt der Gesamtration erhebliche Variationen in der N-Effizienz festgestellt, die Optimierungspotenzial im Bereich von Produktionstechnik, Management, Leistungsniveau und Herdengesundheit nahelegen.

Da **Rindvieh** für 79 % der Ammoniakemissionen aus der Tierhaltung verantwortlich ist (Achermann et al, 2009), haben zuverlässige Grundlagen bei der Planung und Beurteilung von Massnahmen in der Rindviehfütterung eine grosse Bedeutung. Bei Wiederkäuern ist das Reduktionspotenzial von Ammoniak durch Fütterungsmassnahmen schwieriger zu quantifizieren. Im Vergleich zur Schweinehaltung bestehen grundlegende Unterschiede (Tab. 1). Im Gegensatz zu Schweinen wird die Futtergrundlage von Milchvieh durch Standortfaktoren wie Höhenlage, Geländeform und Siloverbot weitgehend bestimmt. 37 % der produzierten Milch stammt von Betrieben mit silofreier Futtergrundlage (U. Wyss, pers. Mitteilung). Unter den Klimabedingungen und den topografischen Verhältnissen sowie den Preisverhältnissen von Erzeugnissen und Produktionsmitteln in der Schweiz überwiegen Grünland basierte Futterkomponenten. Der Wiesenfutteranteil an der Jahresration beträgt rund 66 % (Vogel, 2009). Der hohe **Stellenwert von Wiesenfutter** und das **tiefe Kraffutterniveau** unterscheidet die Schweizer Milchviehfütterung von ausländischen Produktionssystemen ausserhalb des Alpenraumes. Saisonale und wetterabhängige Einflüsse bewirken daher eine grössere **Variabilität der Rationszusammensetzung** und **–qualität** als bei höherer bzw. reiner Mischfutterfütterung. Änderungen in der Rationszusammensetzung ergeben sich durch den Wechsel von der Winter- zur Sommerfütterung. Bei Weidehaltung im Sommer kann kaum auf tierindividuelle Schwankungen in der Futteraufnahme korrigierend eingegangen werden. Die Ergänzungsfütterung wird eher pauschal gehandhabt. Sowohl die Futter- wie die Nährstoffaufnahme lässt sich nur über wiederholte Verzehrsmessungen und Futteranalysen quantifizieren und qualifizieren. Unter Praxisbedingungen ist dies lediglich punktuell machbar und bei Weidehaltung kommen messtechnische Probleme dazu. Eine zuverlässige Einschätzung der Fütterungspraxis beim Milchvieh stösst rasch auf Grenzen und grössere Unsicherheiten, sobald präzise Mengenangaben gefragt sind.

Die Komplexität des **Proteinstoffwechsels** beim Wiederkäuer bedingt eine differenzierte Fütterung. Wegen der Kopplung des Energie- mit dem N-Stoffwechsel, des mikrobiellen Proteinabbaus und -aufbaus im Pansen und aufgrund der N-Rezyklierung ist die Proteinversorgung auch von der Futterbewertung her eine Herausforderung.

Tabelle 1. Ausgewählte produktionstechnische Unterschiede zwischen der Schweine- und Milchviehhaltung

	Schweinehaltung	Milchviehhaltung
Futtergrundlage	Kraftfutter betont	Raufutter betont
Mischfutteranteil	70 -100 %	5 – 25 %
Betriebseigenes Futter	untergeordnete Bedeutung	Hauptbestandteil der Ration Wiesenfutteranteil ~ 66 %
Standorteinfluss	gering	gross
Saisonalität Ration	untergeordnete Bedeutung	ausgeprägt, Winter/Sommer
Witterungseinfluss	gering	gross
Variabilität Ration	vorhanden, durch Futteroptimierung ausgeglichen	Tagesschwankungen in Menge und Qualität, Ausgleich im Sommer beschränkt planbar
Futternorm	meist rationiert	Grundfutter meist ad libitum
Futterverzehr	rückverfolgbar, quantifizierbar	schwierig erfassbar, Schätzungen
N-Exkretion	Stall + Auslauf	Stall + Auslauf + Weide
Quantifizierung der betrieblichen N-Flüsse	N-Input und N-Export mit vertretbarem Aufwand erfassbar	N-Flüsse nur mit grossem Aufwand erfassbar, in der Praxis auf Schätzungen angewiesen
Proteinstoffwechsel	Aminosäurenprofil und -Menge des Futter leistungsbestimmend, essentielle/nicht-essentielle Aminosäuren, mikrobielle Umsetzungen sekundär	Futterproteinqualität sekundär, komplexe Abläufe, Energiekopplung, mikrobieller Abbau und Synthese im Pansen und Synthese, N-Rezyklierung
Massstab der Proteinbewertung	Idealproteinkonzept, Ileal verdauliche Aminosäuren	ruminale Abbaubarkeit des RP, Verdaulichkeit der OS, ASF, ASM, mikrobielles Protein + nicht abgebautes Futterprotein
N-Effizienz	abhängig von Tierkategorie, N- Input, Proteinqualität Mastschweinebetriebe unter NPr-Status: ϕ 32 % (Bracher und Spring 2010)	abhängig von Herdenstruktur, N- Düngung, RP_{Ration} , aRP, FOS Milchkühe: ϕ 25 %

Die mikrobielle Pansentätigkeit leistet einen wesentlichen Beitrag an die Energie- und Proteinversorgung der Wiederkäuer, aber zum Preis einer gegenüber den Monogastriern tieferen **N-Effizienz**, die bei Milchkühen im Durchschnitt 25 % beträgt (Tamminga 1996; Rotz, 2004; Ndegwa et al 2008; Calsamiglia et al 2010). In Mast- und Mutterkuhsystemen liegt die N-Effizienz bei rund 10 % (Wettstein et al 2010). Andererseits können Wiederkäuer dank der Symbiose mit Pansenmikroorganismen faserreiches Futter verwerten und selbst mit sehr

tiefen Proteingehalten und minderwertiger Proteinqualität im Futter noch produktiv sein (Muscher et al 2010).

Die Strategie einer **emissionsarmen Fütterung** muss unabhängig von der Tierart auf zwei Ebenen ansetzen (Rotz 2004, Ndegwa et al 2008; EPMAN, Expert Panel on Mitigating Agricultural Nitrogen, 2009):

1. Reduktion der N-Ausscheidungen
2. Reduktion des flüchtigen N (UUC, Harnanteil, TAN-Gehalt Gülle, pH)

Die N-Ausscheidungen sind bei Wiederkäuern nicht nur vom Proteinmetabolismus abhängig. Die grundsätzliche Beziehung zwischen RP-Gehalt der Ration und der Höhe der N-Ausscheidungen, die hauptsächlich mit der Harn-N-Ausscheidung variieren, besteht aber. Abbildung 2 veranschaulicht die Zusammenhänge des N-turnover von Milchkühen in N-Bilanzversuchen, die mit Winterfutter- oder Grünfütterationen gefüttert wurden.

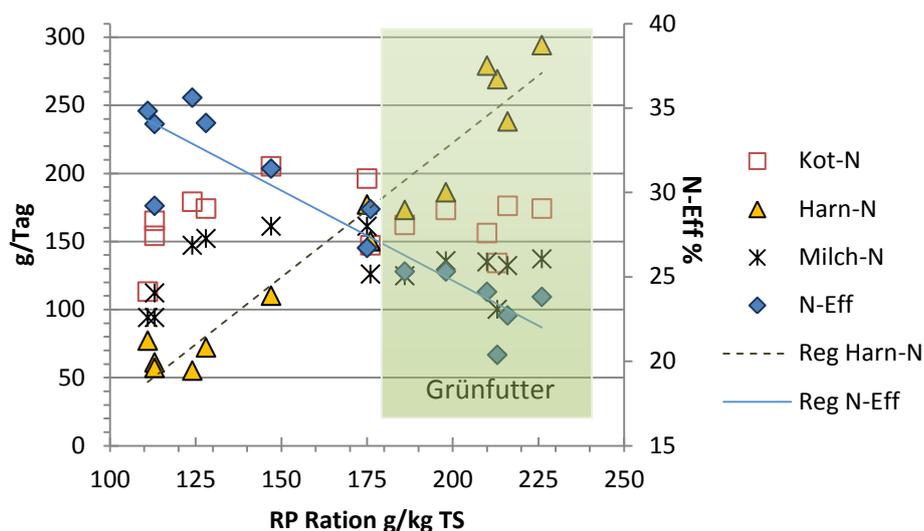
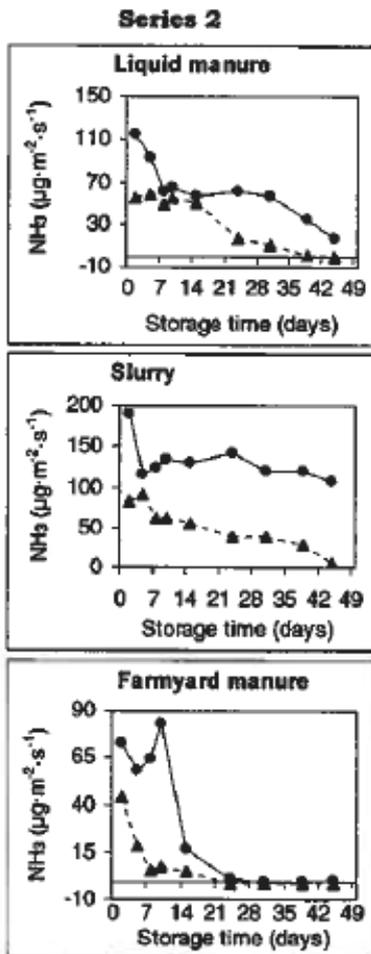


Abbildung 2. N-Turnover bei Milchkühen in Abhängigkeit des RP-Gehaltes der Ration (Daten aus vollständigen N-Bilanzversuchen von Külling, 2000, und van Dorland, 2006).

Oberhalb eines Rohproteingehaltes der Ration von 17.5 % und mittlerer Milchleistung (25 kg) übersteigt der ausgeschiedene Harn-N die Kot-N-Menge. Die N-Effizienz, berechnet als Milch-N/Futter-N, sinkt unter 25 % und kann bei spätlaktierenden Kühen auf 10 % fallen. Die Harn-N-Menge und der Harnanteil an den N-Ausscheidungen zeigen einen zur N-Effizienz entgegengesetzten Verlauf mit entsprechenden Auswirkungen auf die Ammoniakemissionen. Diese Situation trifft gerade während der Grünfütterungsperiode häufig zu. So bewirkten die Exkremate der mit Gras gefütterten Kühe gegenüber der Heurration deutlich höhere NH₃-Emissionen aus Vollgülle, Harngülle und Mist, die im Labormassstab aus den Exkrementen

hergestellt wurden, die bei den N-Bilanz-Messungen anfielen (Külling 2000, Abb. 3). Die N-Verluste korrelierten positiv mit den initialen Harn-N- und TAN-Gehalten und dem N:C Verhältnis der Exkremente.



Messung mit dynamischen (Zuluft und Abluft) Kammern im Labormassstab

● Grasration 213 g RP/kg TS

Harn-N/N-Exkret = 66.7 % (N-Bilanz)

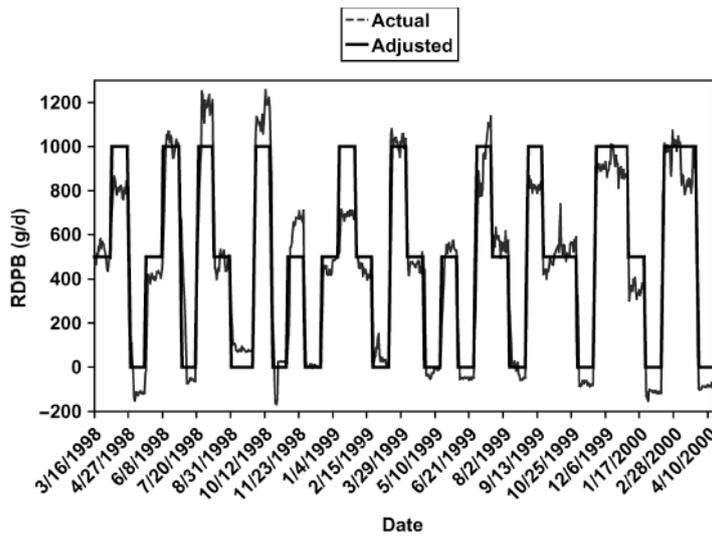
▲ Heuration 113 g RP/kg TS

Harn-N/N-Exkret = 27.0 % (N-Bilanz)

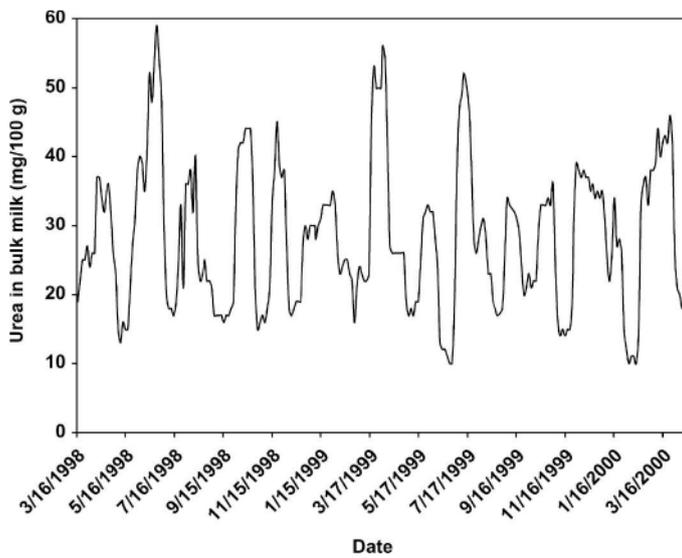
Abbildung 3. Einfluss der Futterration und des Hofdüngertyps auf den Verlauf der Ammoniakemissionen während der Lagerung (Külling 2000).

Unter Praxisbedingungen variieren **mehrere Einflussfaktoren** gleichzeitig und überlagern die Fütterungseffekte auf die Ammoniakemissionen. Mit regressionstechnischen Methoden kann der Beitrag einzelner Faktoren geschätzt werden. In schweizerischen Milchviehbetrieben mit Liegeboxen und Laufhöfen resultierten die Aussentemperatur, die Windgeschwindigkeit im Stall und der Harnstoffgehalt der Tankmilch als signifikante Einflussgrößen auf die Stallemissionen (Schrade 2009). In einem umfangreichen holländischen Versuch mit Milchkühen in einem Liegeboxenlaufstall, die gezielt mit Rationen mit unterschiedlichen Anteilen Gras- und Maissilage und 3 Stufen an ruminaler Proteinbilanz alternierend im 3-Wochen Rhythmus über einen Zeitraum von zwei Jahren versorgt wurden, konnten die gemessenen NH₃-Emissionen modelliert werden (de Boer et al 2002; Monteny et al 2002; van Duinkerken et al 2005). Die RP-Gehalte der Ration variierten zwischen 14 % und 19 %, die N-Aufnahme reichte von 435 – 672 g/Tag und die ruminale Proteinbilanz schwankte zwischen –

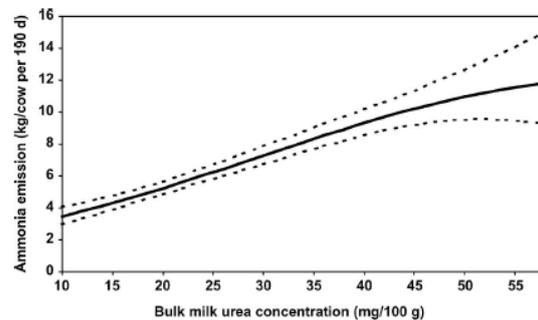
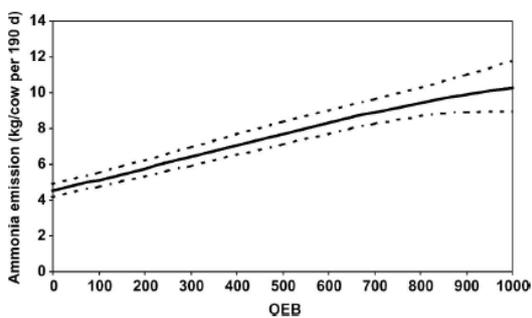
100 g und 1200 g/Tag (Abb. 4a, b, c). Dieses Spektrum deckt einen weiten Bereich von praxisüblichen Rationen ab.



4a)
Verlauf der ruminalen
Proteinbilanz der Ration



4b)
Verlauf der Harnstoffgehalte
der Tankmilchproben



4c) Modellerte NH_3 -Emission in Abhängigkeit der ruminalen Proteinbilanz und des Milchwahnstoffgehaltes unter Konstanthaltung der Temperatur bei 15 °C.

Abbildung 4. NH_3 -Emissionsmodell für einen freigelüfteten Liegeboxenlaufstall abgeleitet aus der ruminalen Proteinbilanz und dem Milchwahnstoffgehalt als erklärenden Variablen (van Duinkerken et al 2005)

Der Energie- und APD-Bedarf wurde im Versuch weitgehend gedeckt. Die Harnstoffgehalte der Milch und die NH₃-Emissionen zeigten einen zur ruminale Proteinbilanz weitgehend parallelen Verlauf. Die Autoren der holländischen Studie kommen zum Schluss, dass neben der **Temperatur** der **Harnstoffgehalt** des **Harnes**, die **ruminale Proteinbilanz** und der **Milchharnstoffgehalt** die wichtigsten erklärenden Variablen bei der Schätzung der Stallemissionen darstellen. Die Kombination Temperatur und Milchharnstoffgehalt erklärte 76 % der Varianz der NH₃-Emissionen. Berechnungen zeigten, dass pro 1°C Temperaturreduktion die NH₃-Emissionen um 2.7 % sinken, pro 1 g tieferem Milchharnstoffgehalt ein Rückgang von 2.5 % zu erwarten ist und bei einer ausgeglichenen ruminale Proteinbilanz gegenüber einem Überschuss von 1000g OEB die NH₃-Emissionen im Stall um 50 % gesenkt werden können. Es wurden 3.3 – 16.3 kg NH₃ pro Kuhplatz über 190 Tage gemessen, was 17.4 – 85.8 g NH₃/Tag entspricht. Diese Grössenordnung deckt sich mit den von Schrade (2009) gemessenen Tagesmittelwerten von 6 – 67 g NH₃/Tag und GV (500 kg LG). In einem anschliessenden Versuch während der Grünfütterung mit Teilweidesystem konnte gezeigt werden, dass die NH₃-Emissionen nicht linear sondern exponentiell mit dem Milchharnstoffgehalt ansteigen (Van Duinkerken et al 2011). Diese Arbeiten zeigen insgesamt die Stossrichtungen auf, die unter schweizerischen Bedingungen zu verfolgen sind.

Mit welchen Fütterungsstrategien und Optimierungsmöglichkeiten eine emissionsmindernde Wirkung unter schweizerischen Rahmenbedingungen erzielt wird und mit welchen Indikatoren die Massnahmen beurteilt werden können, sind Fragen, welche die vorliegende Studie vertieft untersucht.

1.2. Milchviehstudie: emissionsmindernde Fütterungsstrategien und Indikatoren

Die Beurteilung des Potenzials zur Reduktion der N-Ausscheidungen und damit der NH₃-Emissionen erfordert bei der raufutterbasierten Milchviehfütterung eine etwas andere Vorgehensweise als in der Schweinefütterungsstudie. Die Quantifizierung des N-Turnovers ist schon unter Versuchsbedingungen aufwendig. Entsprechend bekommen Indikatoren, die mit dem Proteinstoffwechsel der Milchkühe eng korrelieren, emissionsrelevant sind und einen geringen Schätzfehler in Schätzgleichungen aufweisen, einen hohen Stellenwert. Die Praxistauglichkeit ist Voraussetzung für ein Monitoring von Massnahmen in Praxisbetrieben.

Im Rahmen dieser Studie ist eine Erhebung zur aktuellen Fütterungspraxis nicht realisierbar, um eine repräsentative Übersicht zu erhalten. Methodisch wurde der Ansatz gewählt, sich hauptsächlich auf die Sichtung der internationalen **Fachliteratur** und der

versuchsübergreifenden Auswertung von **schweizerischen Fütterungsversuchen** abzustützen, um folgende Fragen zu bearbeiten:

- mit welchen unter schweizerischen Bedingungen realisierbaren Fütterungsmassnahmen in der Rindviehhaltung die Ammoniakemissionen grundsätzlich verringert werden können und durch welche Faktoren die Anwendbarkeit und die Wirkung dieser Massnahmen beeinflusst bzw. limitiert wird.
- mit welchen möglichen Indikatoren der Einfluss von Fütterungsmassnahmen auf die Ammoniakverluste beurteilt werden kann.
- wie sicher der Einfluss von Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh auf die Ammoniakemissionen vorausgesagt werden kann.
- ob Fütterungsmassnahmen genügend wirkungsvoll und zuverlässig sind, dass sie als wichtiges Standbein in Ressourcenprogrammen eingesetzt werden können.

Die Studie gliedert sich in folgende Arbeitspakete:

1. Stand des Wissens über Fütterungsmassnahmen und Auswahl von Indikatoren über eine **Literaturrecherche**. Vertiefte Analyse des Milchwahnstoffgehaltes.
2. Gezielte Auswertung **schweizerischer Versuche**. Auswahl der Datensätze aus Dissertationen und Versuchen von ALP, um Beziehungen zwischen **N-Input, N-Ausscheidungen** und ausgewählten **Indikatoren** zu analysieren und **Schätzgleichungen** abzuleiten.
3. Erste **Modellrechnungen** zur Quantifizierung des Einflusses von Fütterungsmassnahmen und Rationstypen auf die N-Ausscheidungen mit dem Jahresrationenmodell „Münger“. Die Ammoniakemissionen werden in einem zweiten Schritt mit Agrammon modelliert.
4. **Empfehlungen** zu Fütterungsstrategien und Indikatoren und Beurteilung von Forschungsbedarf.

2. Emissionsmindernde Fütterung und Indikatoren: eine Literaturrecherche

Wie in der Einleitung aufgezeigt, ist die Ammoniakbildung eng mit dem N-Umsatz der Nutztiere verflochten. Die ausgeschiedene Harnstoffmenge nimmt dabei eine Schlüsselrolle ein. Dies ist der Hauptansatzpunkt einer Emissionsminderung. Der Beitrag, den die Fütterung beim Milchvieh leisten kann und wie sich dies in Fütterungsstrategien übersetzen lässt, leitet sich aus den Besonderheiten des Proteinstoffwechsels beim Wiederkäuer ab.

2.1. Proteinstoffwechsel der Milchkuh

Die Grössenordnung des N-Umsatzes bei der Milchkuh fasst Tabelle 2 auf der Grundlage der durchgeführten Literaturrecherche zusammen. Die Daten von trockenstehenden Kühe sind darin nicht enthalten. Die grosse Spannweite der Werte ist auf die Unterschiede in Leistung, Laktationsstadium, Rasse, Ration und die tierindividuelle Variation zurückzuführen. Eine Standardkuh gibt es in diesem Sinne nicht. Bei mittleren RP-Gehalten der Ration wird **60 – 75 % des Futter-N** je zur Hälfte über den Harn und über den Kot **ausgeschieden**. Dieses Verhältnis ist fütterungsabhängig. Ein hoher RP-Gehalt der Ration verschiebt das Ausscheidungsmuster in Richtung Harn, wie in Abbildung 2 exemplarisch gezeigt. Die Exkrement-Menge variiert zwischen 30-110 kg/Tag bei N-Ausscheidungen von 100 – 740 g/Tag. Eine Aufrechnung pro Laktation oder Produktionszyklus lässt sich nur über Modellrechnungen, die das Leistungsniveau, die Milchleistungskurve, die Galtzeit und die anteilmässige Winter- und Sommerfütterung berücksichtigen, machen. Flückiger (1989) kommt für schweizerische Verhältnisse auf einen N-Anfall von 74 – 160 kg/Kuh, Jahr bei Milchleistungen von 5000 – 8000 kg. Für eine Hochleistungsherde (11000 kg Milch/Laktation) berechneten Satter et al (2002) N-Ausscheidungen von 127 – 162 kg pro Laktation bei einem N-Input von 178 – 214 kg. Die Trockenstehzeit ist dabei nicht berücksichtigt. Nach neuen Messungen (Schrade 2009, Monteny et al 2002) werden im Stall 6 – 150 g NH₃ (4.9 – 123.6 g N) pro Kuh und Tag emittiert.

Tabelle 2. Variationsbereich des N-Umsatzes von laktierenden Kühen

Futter	Exkremete	Kot	Harn	Milch
TSV: 7 – 30 kg/Tag	Exkr: 30 – 110 kg/Tag	Kot: 20 – 70 kg/Tag	Harn: 9 – 65 kg/Tag	5 – 50 kg /Tag
Fut-N : 150 – 900 g/Tag	Exkr-N : 100 – 740 g/Tag	Kot-N: 70 – 330 g/Tag	Harn-N : 30 – 450 g/Tag	Milch-N: 10 – 230 g/Tag
RP _{TS} : 10 – 28 %	Exkr-N: 32 – 99 g/kg TS	Kot-N: 20 – 60 % des Fut-N	UUN: 20 – 380 g/Tag	Milch-N: 3.7 – 8.3 g/kg
N-Input : 120 – 225 kg/Jahr	Exkr-N : 35 – 90 % des Fut-N	Kot-N : 21 – 42 g/kg TS	Harn-N : 14 – 70 % des Fut-N	NPN: 3 – 10 % des Milch-N
	N-Exkr: 5.6 – 47 g/kg ECM		Harn-N : 24 – 75 % der N-Exkr	MUC: 6 – 60 mg/dl
	N-Anfall : 74 – 170 kg/Jahr		Harn-N : 3 – 15 g /kg	MUN: 4 – 32 mg/dl
			UUN: 1.6 – 12 g /l	MUN: 20 – 75 % des NPN
			UUN: 35 – 85 % des Harn-N	5000 – 11000 kg Milch/Laktation
LG. 300 – 870 kg; N-Bilanz: -45 – 200 g/Tag N-Eff: 8 – 46% Milch-N /Fut-N Stallemissionen : 6 – 150 g NH₃ /Kuh, Tag (oberer Wert im Sommer)				

Die Definition der **N-Effizienz** als Milch-N/N-Aufnahme ist als scheinbare Effizienz zu betrachten. Da bei Laktationsbeginn N mobilisiert wird und bei Laktationsende N wieder angesetzt wird in Form von Trächtigkeit, Körperreserven und Körperwachstum, kommt es zu einer Über- bzw. Unterschätzung der effektiven N-Verwertung. Am Ende der Trächtigkeit wird 19 g N/Tag im graviden Uterus angesetzt (Bell et al 1995). Gemäss GfE (2001) wird in den letzten 6 Wochen der Trächtigkeit ein N-Ansatz von 28-36 g/Tag und für 1 kg Wachstum ein Proteinansatz von 138 g bzw. 22.08 g N veranschlagt. Die N-Effizienz über eine ganze Laktation beträgt im Mittel 25 %. Auf Herden- oder Betriebsbasis wird die N-Effizienz weit stärker von der Nutzungsdauer als von der Milchleistung beeinflusst (Tammenga 1996, Ryan et al 2011). Eine verbesserte N-Effizienz ist gleichbedeutend mit verringerten N-Ausscheidungen. Da der Harn-N-Anteil an den Gesamt-N-Ausscheidungen negativ mit der N-Effizienz korreliert (Münger 1997, Tab. 9), wird mit einer Minimierung des Harn-N, vorab dem Harnstoff-N, die N-Effizienz verbessert, was verbunden ist mit tieferen NH₃-Emissionen. Die Gründe für die insgesamt tiefe N-Effizienz der Wiederkäuer sind in den mikrobiellen Umsetzungen im Pansen und im **Harnstoffmetabolismus** zu suchen (Abb. 5).

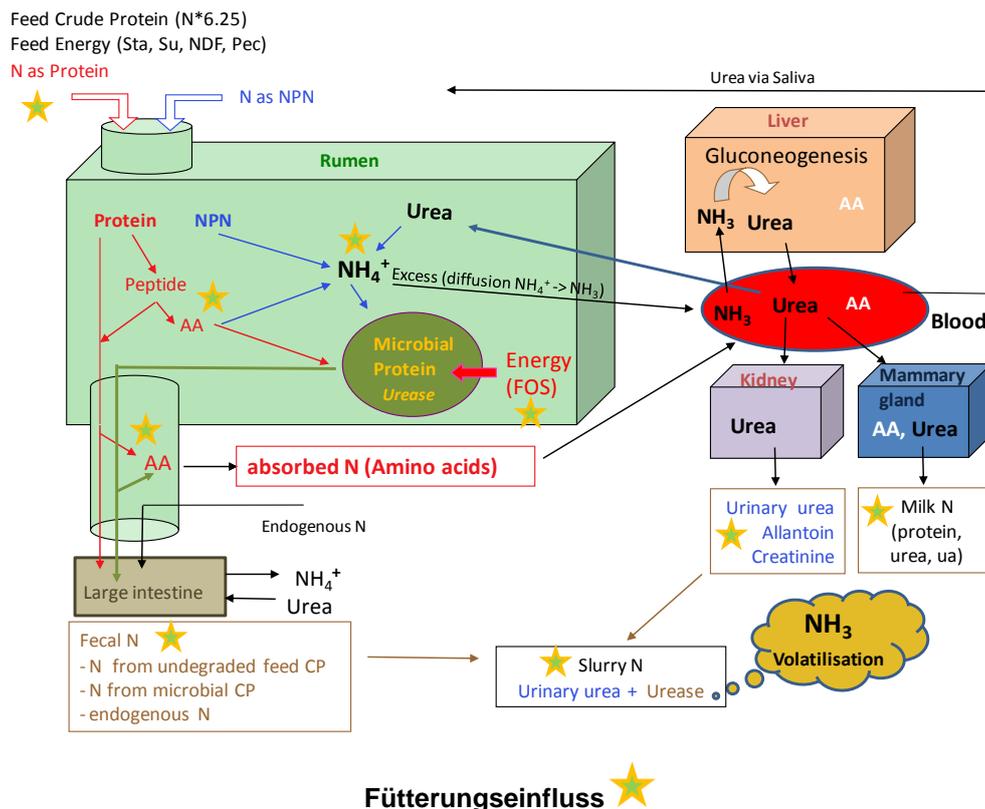


Abbildung 5. Proteinstoffwechsel bei laktierenden Wiederkäuern

Futterprotein wird im Pansen über eine proteolytische Kaskade zu Oligopeptiden, Dipeptiden, Aminosäuren und als letztem Schritt zu Ammoniak abgebaut. Ammoniak dient den

Pansenmikroben als N-Quelle für die zu ihrer Vermehrung nötigen Proteine. Die mikrobielle Proteinsynthese ist direkt von der verfügbaren, fermentierbaren Energie abhängig, die ATP liefert (Abb. 6). Überschüssiger Ammoniak, der nicht in Mikrobenprotein eingebaut wird, diffundiert durch die Pansenwand in die Blutbahn. In der Leber wird der Ammoniak zu Harnstoff entgiftet. Der Harnstoff gelangt zurück in die Blutbahn und wird über die Nieren ausgeschieden. Da Harnstoff frei in die Körperflüssigkeiten diffundiert, ist er proportional zum Blutharnstoff auch in der Milch vorhanden. Als Eigenheit der Wiederkäuer wird ein Teil des Blutharnstoffes zum Pansen - direkt durch die Pansenwand und über den Speichel - rezykliert. Dieser sogenannte **rumino-hepatische Kreislauf** befähigt die Wiederkäuer, mit N-Mangelsituationen fertig zu werden.

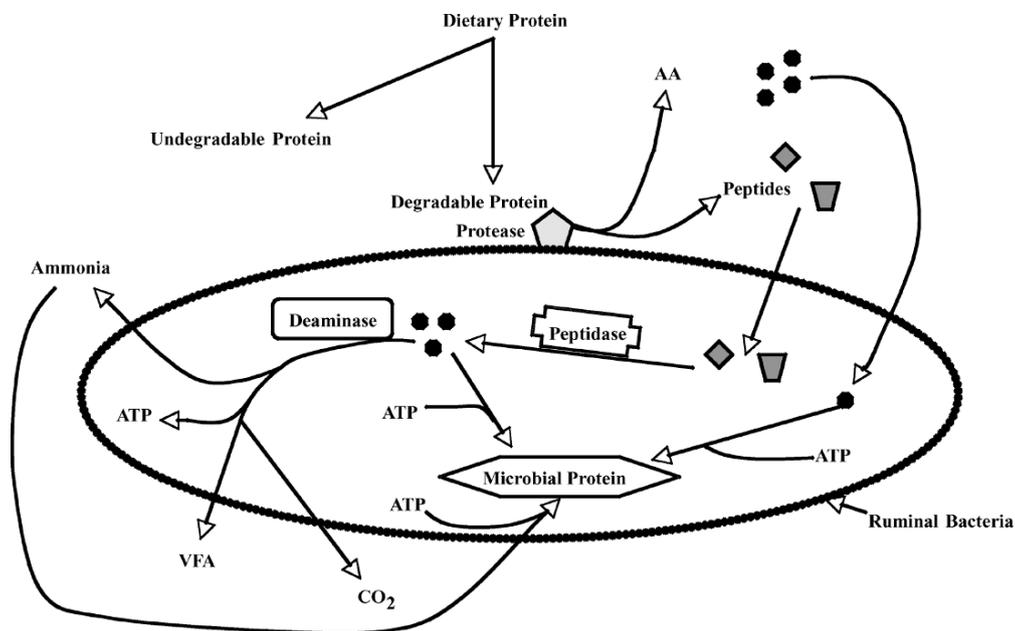


Abbildung 6. Schema des mikrobiellen Proteinabbaus und der Fermentationsendprodukte im Pansen (Bach et al 2005)

Es wäre verlockend, die N-Rezyklierung gezielt in der Fütterung auszunutzen. Allerdings läuft die N-Rezyklierung erst bei extrem tiefen Proteingehalten der Ration von unter 10 % mit einem hohen Ausnutzungsgrad ab (Abb. 7). Experimentelle Befunde deuten darauf hin, dass die Hochregulation durch die Veränderung der Permeabilität der Pansenwand gesteuert wird, indem die Aktivität von Transportproteinen in Abhängigkeit der Blutharnstoffkonzentration beeinflusst wird (Muscher et al 2010). Laktierende Kühe würden vor der vollen Hochregulation mit einem Leistungsabfall reagieren. Mit steigendem Proteingehalt der Ration geht ein zunehmender Anteil des Harnstoffpools über den Harn irreversibel verloren. Von der gesamthaft ausgeschiedenen Harnstoffmenge wird nur ein kleiner Teil - in der

Größenordnung von 2-5 % - über die Milch ausgeschieden. Die Entgiftung des Ammoniaks zu Harnstoff kostet Energie und belastet die Leber (Lapierre et al 2005). Um die Harnstoffverluste im Harn zu minimieren und die N-Effizienz nachhaltig zu verbessern, ist als Strategie in erster Linie die **Pansenfunktion** zu optimieren (Bach et al 2005, Calsamiglia et al 2010).

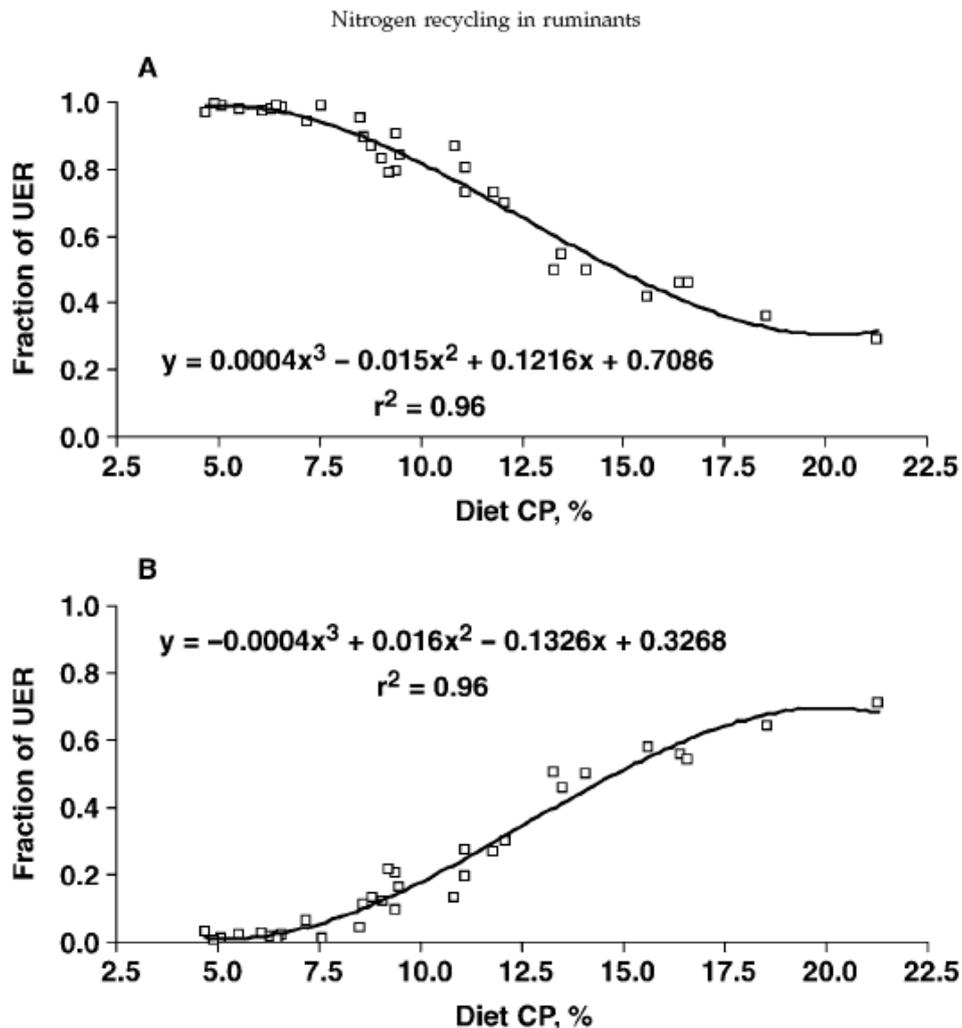


Abbildung 7. N-Rezyklierung: Einfluss des RP-Gehaltes der Ration auf den Anteil des gesamthaft gebildeten Harnstoffes (UER), der über Blut und Speichel in den Pansen zurückfließt (A) oder über den Harn und die Milch ausgeschieden (B) wird (Reynolds und Kristensen 2008)

Der ausgeprägte Proteinabbau im Pansen durch Bakterien, Protozoen und Hefen, der für nicht hitzebehandelte Futtermittel 60-90 % beträgt (<http://www.feed-alp.admin.ch>), hat Kosten und Nutzen. Die Symbiose mit Pansenmikroben befähigt die Wiederkäuer, die sonst unverdaulichen pflanzlichen Strukturkohlenhydrate (Zellulose, Hemizellulose) zu verwerten. Die Fermentationsendprodukte in Form von flüchtigen Fettsäuren sind die Hauptenergiequelle

der Wiederkäuer. Der parallel verlaufende ruminale Proteinabbau führt zu Ammoniakbildung und potenziellen Harnstoffverlusten. Die Resynthese von Mikrobenprotein aus freien Aminosäuren und Ammoniak versorgt andererseits die Wiederkäuer aufgrund des günstigen Aminosäureprofils mit hochwertigem Protein. Die Futterproteinqualität ist daher beim Wiederkäuer im Gegensatz zu Monogastriern von sekundärer Bedeutung. Der Beitrag der Pansenmikroben an absorbierbarem Protein im Dünndarm beträgt 50-80 %. Der Rest stammt aus unabgebautem Futterprotein. Die mikrobielle Proteinsynthese hat daher einen grossen Einfluss auf die Proteinversorgung der Milchkühe, die eng mit der im Pansen verfügbaren Energie verflochten ist. Sowohl die Verfügbarkeit des N wie der Energie begrenzen die Syntheseleistung. Als Massstab der **mikrobiellen Syntheserate** wird üblicherweise der pro kg fermentierbarer organischer Substanz gebildete mikrobielle N (Protein) verwendet: g MO-N/kg FOS. Diese Verhältniszahl ist als fixer Faktor in die Proteinbewertungssysteme eingeflossen. Im schweizerischen Proteinbewertungssystem wird dies in der Berechnung des MO-Proteins angewendet: **PME (g/kg) = 145 * FOS (g/kg)**. Die energiebezogene Syntheserate kann aber in einem weiten Bereich variieren und sagt noch nicht viel darüber aus, mit welcher Effizienz der pansenverfügbare N verwertet wird (Abb. 8).

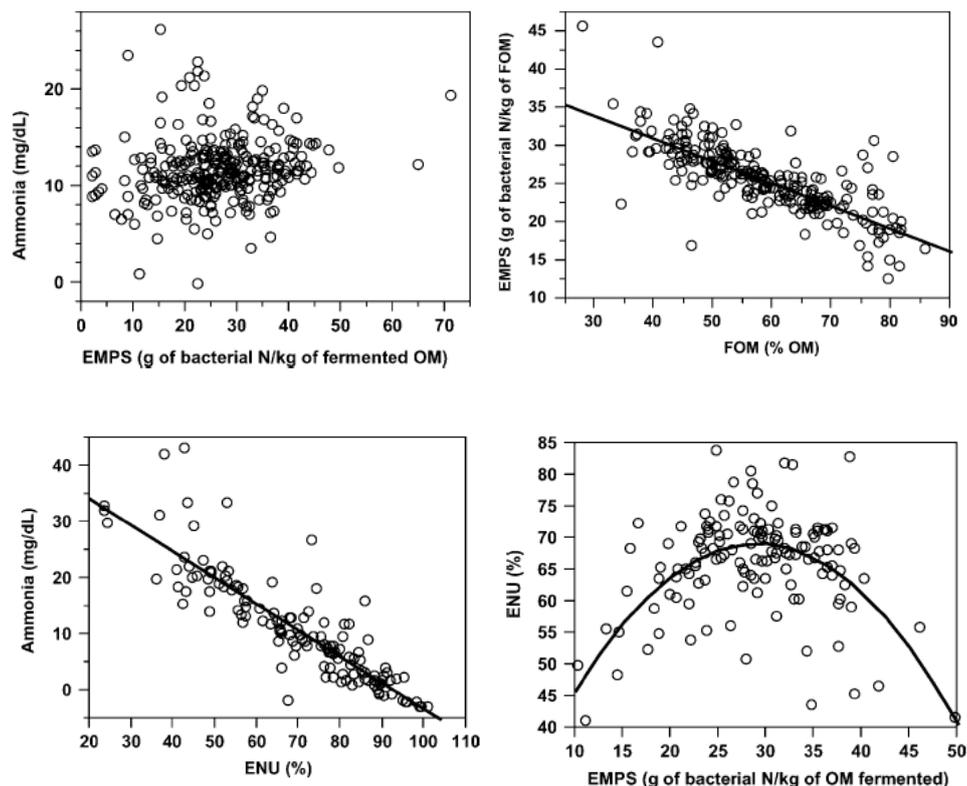


Abbildung 8. Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese im Pansen bezogen auf FOS oder verfügbarem N. ENU = Efficiency of Nitrogen Utilization; EMPS = Efficiency of microbial protein synthesis (Bach et al 2005)

Bach et al (2005) schlägt als weitere Bezugsgrösse die N-bezogene Syntheserate vor: MO-N/verfügbare N_{Pansen}. Der pansenverfügbare N setzt sich aus abbaubarem RP, endogenem RP

und rezykliertem N zusammen. Wie aus Abbildung 8 ersichtlich ist, wird die Verwertungseffizienz des pansenverfügbaren N durch hohe Ammoniakkonzentrationen vermindert. Durch die Kombination beider Effizienzmassstäbe kann ein Optimum für das mikrobielle Wachstum bei guter N-Ausnutzung abgeleitet werden. Unter optimalen Bedingungen wird 29 g MO-N/kg FOS (entspricht 180 g MO-Protein/kg FOS) gebildet und der N wird zu 69 % ausgenutzt. Unter Praxisbedingungen ist es nicht möglich, den Anteil des rezyklierten N am pansenverfügbaren N einzuschätzen. In den Futterbewertungssystemen stützt man sich vor allem auf die Abbaubarkeit des Rohproteins, die in-situ (Nylonbag-Methode) an fistulierten Tieren gemessen wird. Die Berechnung der ruminalen Proteinbilanz ist eine Annäherung an die Einschätzung der N- und Energieverfügbarkeit im Pansen, welche die mikrobielle Proteinsynthese mengenmässig bestimmt. Mit der Berechnung der ruminalen Proteinbilanz können ruminale Imbalancen zwischen Protein und Energie aufgedeckt werden.

Ruminale Proteinbilanz (RNB_{CH}) = PMN - PME

PMN (g/kg TS) = $RP \cdot [1 - \{1.11 \cdot (1 - aRP/100)\}]$

PME (g/kg TS) = 145 * FOS; $FOS (g/kg TS) = VOS - RP \cdot (1 - aRP/100) - RL - ST \cdot (1 - aST/100) - FP/2$

- PMN-PME = 0 → ausgeglichene Pansenverhältnisse
- PMN-PME > 0 → N-Ueberschuss im Verhältnis zur Energie, hohe NH₃-Konzentration im Pansen, Harnstoffverluste im Harn, hoher Milchwahstoff, schlechte N-Effizienz im Pansen und Gesamttier, vermehrte Ammoniakemissionen
- PMN-PME < 0 → N-Mangel im Verhältnis zur Energie, tiefe NH₃-Konzentration im Pansen, minimale Harnstoffausscheidungen im Harn, N-Rezyklierung, tiefer Milchwahstoff. Bei hohem N-Mangel ist die mikrobielle Syntheseleistung reduziert, Faserverdaulichkeit sinkt, Verzehr und Leistung fallen ab.

Zwischen der ruminalen Proteinbilanz, der ruminalen NH₃-Konzentration, den Harnstoffausscheidungen, dem Milchwahstoff und den Ammoniakemissionen besteht ein enger Zusammenhang (Abb. 4 und Abb. 9-11). Aus der Bilanzformel ist direkt ableitbar, dass die Verdaulichkeit der OS, die aRP und der Rohproteingehalt die Ausgewogenheit der Pansenfermentation bestimmen. Ein N-Überschuss liegt dann vor, wenn ein hoher RP-Gehalt mit einer hohen Abbaubarkeit des Rohproteins gekoppelt ist und die Abbaukinetik des Proteins höher ist als diejenige der OS. In frühen Nutzungsstadien tritt beim Raufutter eine positive ruminale Bilanz für Grünfutter, Silage und Dürrfutter auf. Ganzpflanzenmais aller Konservierungsarten und Stroh weisen eine negative Bilanz auf, das heisst ein ruminaler N-Mangel besteht. Unter den Kraffutterkomponenten haben alle energiereichen Futtermittel wie

Getreide und Getreidenebenprodukte (einzelne Ausnahmen), Rüben- und Kartoffelprodukte eine negative und Proteinträger wie Extraktionsschrote und Kuchen der Ölsaaten, Birtreber und Körnerleguminosen eine positive ruminale Bilanz. Details zu allen Futtermitteln sind aus der Futtermitteldatenbank (<http://www.feed-alp.admin.ch>) abrufbar.

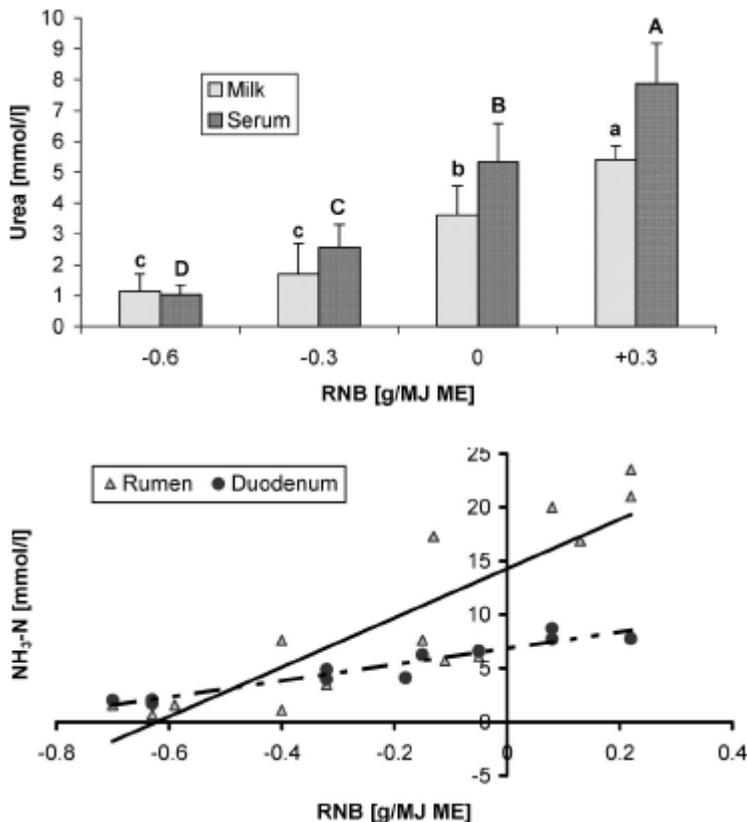
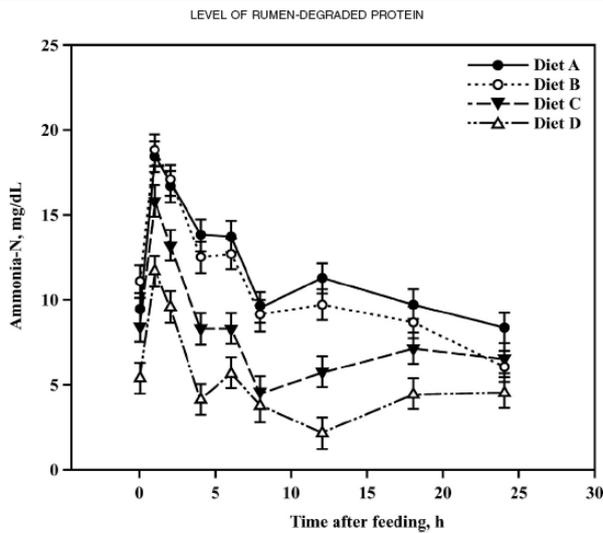


Abbildung 9. Einfluss der ruminalen N-Bilanz (RNB) auf den Pansenstoffwechsel und den Blut- und Milchnharnstoffgehalt (Lebzien et al 2006)

Durch die gezielte Kombination der Rationskomponenten lässt sich die ruminale Bilanz verschieben. Die Beeinflussung der Abbaubarkeit des Rohproteins ist eine zusätzliche Möglichkeit (Abb. 10). Hitzebehandlung, Tannin und Saponin haltige Futter, und ätherische Öle wirken hemmend auf einzelne Schritte der proteolytischen Kaskade und verändern die Mikroorganismenpopulation (Walker et al 2005). Die oft beobachtete Reduktion der Protozoenzahl verbessert die ruminale N-Effizienz und sorgt für tiefere NH_3 -Konzentrationen, da der intraruminale N-Kreislauf durch die Bakterien fressenden Protozoen weniger belastet wird. Allerdings verschlechtert sich die Gesamttraktverdaulichkeit für OS, N, NDF und ADF bei defaunierten Tieren (König et al 2000). Auf Protozoen zu verzichten ist keine Option. Auf der Energieseite der Bilanzgleichung können fermentierbare Kohlenhydratquellen im Ergänzungsfutter einen N-Überhang im Grundfutter ausgleichen und die Harn-N-Menge reduzieren (Hristov und Jouany 2005, Hristov et al 2005, Abb.10). Rasch abbaubare Zucker können aber zu tiefe pH Werte im Pansen verursachen.

a) Pansenfunktion und Proteinquellen



Verwendete Proteinträger:

Diet A: Harnstoff + Sojaschrot

Diet B, C: Harnstoff+Sojaschrot+Soypass

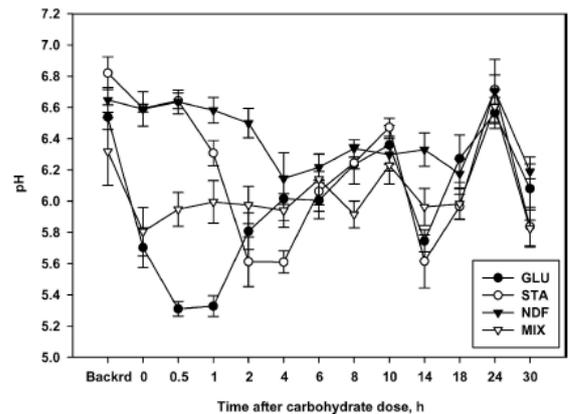
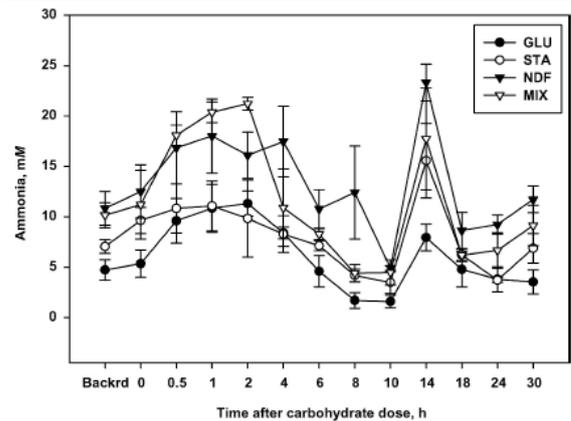
Diet D: SoyPass (behandeltes Sojaextraktionsschrot)

	A	B	C	D
aRP	68.8%	66.3%	65.7%	61.5%
RP _{TS} %	18.8	18.3	17.7	17.2
NH ₃ Pansen mg/dl	12.33	11.76	8.68	5.71
Fut-N g/Tag	715	701	690	619
Kot-N g/Tag	222	220	219	197
Harn-N g/Tag	295	293	237	239
UUN g/Tag	240	216	195	165
Milch kg/Tag	42.3	42.8	42.4	41.5
MUN mg/dl	15.9	15.6	13.6	12.8
N-Eff %	29.6	29.5	30.4	30.4

Anfang-Mitte Laktation, >40 kg Milch, Luzerne und Maissilage+ 50 % KF als TMR verfüttert

Quelle: Reynal und Broderick 2005

b) Pansenfunktion und Kohlenhydratquellen



GLU = Mais dextrose

STA = Maisstärke

NDF = Haferfasern

MIX = Apfelpektin, GLU+STA+NDF

	GLU	STA	NDF	MIX
RP _{TS} %	18.2	18.3	18.3	18.1
NH ₃ mmol/l	8.5	9.6	16.4	12.4
Fut-N g/Tag	634	630	662	651
Kot-N g/Tag	160	155	88	136
Harn-N g/Tag	274	286	339	317
Milch-N g/Tag	97	89	90	83
MUN mg/dl	16.9	17.4	22.4	19.7
N-Eff %	15.1	13.8	13.5	12.8

Spätlaktierende Kühe, 18.3 kg Milch, Luzerneheu 73%

Quelle: Hristov et al 2005

Abbildung 10. Einfluss der Protein- und Kohlenhydratquellen auf die Pansenfunktion, den N-Turnover und den Milchwahstoffgehalt

Der rein rechnerische Ausgleich einer Ration genügt nicht, wenn die **Synchronität** der Futterkomponentenvorlage (Fütterungssequenz und -Frequenz) und die Abbaukinetik der

Protein- und Energiequellen vernachlässigt werden. Die Verwendung der Gesamttraktverdaulichkeit der OS zur Schätzung der mikrobiellen Proteinsynthese in den Proteinbewertungssystemen, die auf dem franz. PDI-System aufbauen, wird als Schwachpunkt gewertet (Südekum 2010). Die Erfassung der ruminale Verdaulichkeit der OS, das heisst die ruminale Abbaubarkeit, würde die Angaben liefern, die für eine gezielte Synchronisation der Pansenfermentation nötig wären. Die Frage ist, ob mit der in-situ Methode zur Messung der aOS die Proteinbewertung der Futtermittel wirklich genauer wird. Die Abbaubarkeitsbestimmung des RP hat zum Beispiel in Ringversuchen zu schlecht reproduzierbaren Ergebnissen geführt (Flachowsky und Lebzien 2006). Im Rahmen des REDNEX Programms (EU Framework Programm 7, <http://www.rednex-fp7.eu/>) laufen international Bestrebungen, die ruminale Abbaukinetik der energieliefernden Fraktionen (OS, NDF, ADF, Stärke) in die Futterbewertung einfließen zu lassen und dadurch zu emissionsmindernden Rationengestaltungen beizutragen (Weisbjerg 2010).

Eine positive ruminale Proteinbilanz stellt eine wichtige, wenn nicht die wichtigste Harnstoffpoolquelle dar, deren Ausmass durch die Fütterung beeinflusst werden kann. Im postruminalen Proteinstoffwechsel einer Kuh kommen noch weitere, zum Teil **unvermeidbare Harnstoffpoolquellen** hinzu. Bei der Proteinsynthese für Erhaltung, Milch und Ansatz kommt es zu Umwandlungsverlusten in Form von oxidierten (katabolisierten) Aminosäuren. Deren Desaminierung führt zur Harnstoffbildung in der Leber, die als eigentliche Schaltzentrale anzusehen ist. Ausserdem werden Aminosäuren in die Glukoneogenese eingeschleust, um den hohen Glukosebedarf der laktierenden Milchkuh zu decken. Dabei entsteht ebenfalls Harnstoff. Eine über dem Bedarf liegende Proteinversorgung bewirkt eine unspezifische Aminosäurenverwertung. Sie werden oxidiert und desaminiert. Die Dickdarmfermentation ist ebenfalls im Harnstoffpool integriert, aber von untergeordneter Bedeutung. Zusammenfassend kommen bei Wiederkäuern folgende Harnstoffpoolquellen vor:

- Futter NPN
- Ruminale Proteinbilanz (PMN-PME): Überschuss an verfügbarem N im Verhältnis zur fermentierbaren Energie im Pansen
- metabolische Umwandlungsverluste bei Proteinsynthese und Proteinabbau: Erhaltung, endogene Verluste, Mobilisierung, Proteinansatz, Milchsynthese
- Proteinübersversorgung gemessen am Bedarf
- Glukoneogenese
- Dickdarmfermentation
- Rumino-hepatischer Kreislauf

Der relative Anteil jeder Quelle am Gesamtpool ist variabel. Hof et al (1997) haben den Beitrag der verschiedenen Proteinstoffwechselschritte an die Harnstoff-Bildung für eine Reihe von Versuchsrationen abgeschätzt. Bei negativer oder ausgeglichener ruminale Bilanz ist die

Milchleistung der bestimmende Faktor. Eine positive ruminale Proteinbilanz kann bis zu 56 % des gesamten Harnstoffpools ausmachen.

Die Harnstoffausscheidungen lassen sich über die vermeidbaren Verluste minimieren, was die N-Effizienz insgesamt verbessert. Dabei kann die Fütterung auf die ruminale Bilanz, die Protein- und die Energieversorgung Einfluss nehmen.

2.2. Indikatoren und Schätzgleichungen

Aus den Zusammenhängen des Proteinstoffwechsels der Wiederkäuer lassen sich Indikatoren zur Erfassung einer emissionsmindernden Fütterung ableiten und sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Weitere stammen aus Regressionsrechnungen, die in Versuchen eine signifikante Beziehung zu den N-Ausscheidungen und Ammoniakemissionen aufgezeigt haben. Die einzelnen Beziehungen zu Fütterungsparametern und Stoffwechsel sind in den Tabelle 4 bis 10 nach Organ und Ausscheidungsweg zusammengefasst.

Tabelle 3. Indikatoren mit NH₃-Emissionsrelevanz

Futter	Pansen	Dünndarm	Blut	Harn	Kot	Gülle	Milch	N-Eff
Fut-N g/Tag	vOS aNDF % aStä	vASF %	BUN mmol/l mg/dl	Harn-N g/Tag	Kot-N g/Tag	N _{Exkret} g/kg, g/Tag	Milch-N g/Tag	Milch-N / Fut-N %
RP _{Ration} %	aRP %	vASM %	PUN mmol/l mg/dl	UUC %, g/l	vRP	Harn-N:N _{Exkret} %	Protein %	N _{Exkret} /ECM g/kg
N:VOS RP:NEL	Nverf:FOS g/kg	APDN g/kg, g/Tag		UUN %, g/l	C:N	C:N	MUC MUN mg/dl	N _{Exkret} /ECM g/kg Lebenstag- leistung
RP:WSC, NFC	NH ₃ -N mmol/l, mg/dl	APDE g/kg, g/Tag		Purin- derivate Allantoin mg/l	pH	TAN %, g/kg	Fettsäu- renprofil	
RP:NDF	MO-N : FOS g/kg	AMIS-Profil		Kreatinin mg/l	n- Alkane	anorg N:org N		
APD:RP	MO-N:verf. N %			pH		pH		
n-Alkane	pH					TS %		
Fut-K, Fut-Na %, g/Tag								
PMN-PME g/kg, g/Tag OEB RNB								
Synchronisation								
MPP _{APD} - MPP _{NEL} , N-Bilanz, Energiebilanz, Nährstoffversorgung								

Die Abschätzung der Ammoniakemissionen aus der Rindviehhaltung ist auf quantitative und qualitative Angaben über die **N-Ausscheidungen** angewiesen. Der N-Umsatz einer laktierenden Kuh lässt sich summarisch nach folgender Gleichung darstellen:

$$N_{\text{Aufnahme}} - \underbrace{N_{\text{Milch}} - N_{\text{Ansatz, Erhaltung}}}_{\text{Produktion}} = N_{\text{Kot}} + N_{\text{Harn}}$$

Die Milchleistung mit Inhaltsstoffen ist die einzige Grösse, die regelmässig und auf Einzeltierbasis gemessen und auch in Praxisbetrieben verfügbar ist. Alle anderen Grössen sind nur über aufwendige Messungen erfassbar, wie beispielweise Respirations- und N-Bilanzversuche. Die quantitative Kot- und Harnsammlung und die Bestimmung des Futtermittelsverzehrs sind bei Milchkühen auch bei sorgfältiger Arbeitsweise nicht trivial. Der Umgang mit grossen Volumen und Mengen, das Zusammenstellen von repräsentativen Proben, die Probenaufbereitung, die analytische Genauigkeit und die Einschränkung der Kühe während der Bilanzperiode sind potentielle Fehlerquellen. Es ist davon auszugehen, dass in N-Bilanzversuchen der N-Ansatz überschätzt und die N-Ausscheidungen in der Tendenz unterschätzt werden (Spanghero und Kowalski 1997). Eine vereinfachte Vorgehensweise beruht auf der alleinigen Verzehrsmessung und der Annahme eines N-Ansatzes von 0. Dann berechnen sich die $N_{\text{Ausscheidungen}}$ als: $N_{\text{Aufnahme}} - N_{\text{Milch}}$. Ein paar Fehlerquellen lassen sich mit dieser Methode ausschliessen, aber man kann nicht zwischen Kot und Harn differenzieren und die Startphase der Laktation wird ungenau eingeschätzt. Weidetiere erfordern eine spezielle Verzehrsschätzung. Mit der einfachen oder doppelten **Indikatormethode** macht man sich die Eigenschaft zu Nutze, dass unverdauliche Futterbestandteile und extern zudosierte Marker vollständig über den Kot ausgeschieden werden. Bei Weidetieren hat sich die **n-Alkanmethode** (langkettige Pflanzenwachse) zur Verzehrsschätzung etabliert (Dove und Mayes 2005). Gleichzeitig kann die Kotmenge und die Verdaulichkeit der Ration abgeleitet werden. Das Interesse an vereinfachten Schätzverfahren ohne quantitative Futter-, Kot- und Harnsammlungen und insbesondere die Abstützung auf Milchinhaltsstoffe ist gross. Die Ableitung der Schätzgleichungen in den Tabellen 4 bis 10 stützt sich meist auf N-Bilanzversuche, die teilweise metaanalytisch ausgewertet wurden. Als wertvolle schweizerische Datenquelle hat sich die Dissertation von Münger (1997) erwiesen. Darin sind N-Bilanzen von drei Rassen über die Galtzeit und Laktation während der Winter- und Sommerfütterung ausgewertet und decken somit ein weites Spektrum bezüglich Fütterung und Leistung ab.

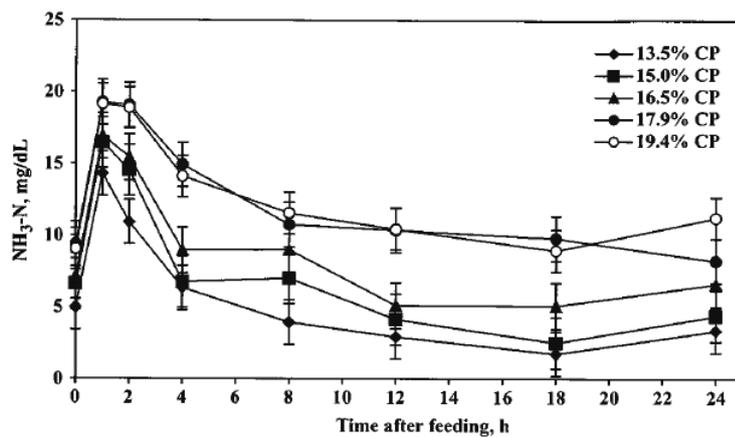
Insgesamt dürfen die recht hohen **Bestimmtheitsmasse** nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Regressionen aus Versuchen mit geplant weiten Wertebereichen stammen und die Beziehungen zwar signifikant sind aber die Reststreuung vor allem bei Einzeltierdaten hoch sein kann.

Die Parameter der Pansenfunktion und der Futtercharakterisierung sind nicht immer voneinander trennbar (Tab. 3, 4). Der **ruminale Ammoniakgehalt** als Ausgangspunkt des Harnstoffpools korreliert mit dem RP-Gehalt der Ration, der ruminalen N-Bilanz, dem Milchharnstoff und der Harnstoffausscheidung im Harn. In den Untersuchungen von Olmos Colmenero et al (2006) mit amerikanischen Holsteinkühen mit einer Milchleistung von 36-38

kg reduzierte sich die Harnstoff-N-Ausscheidung um 140 g (-67 %) und die gesamte N-Exkretion um 158 g (-33 %) bei einer Absenkung des RP-Gehaltes von 19.4 auf 13.5 % (Abb.11). Der Kot-N veränderte sich nur marginal, so dass in der Vollgülle vor allem die TAN-Fraktion beeinflusst wurde.

Tabelle 4. Beziehung zwischen dem NH₃-N im Pansen mit Rationsmerkmalen und dem Milchwahstoffgehalt

Pansen	Regression	R ²	Bereich	Quelle
NH ₃ -N _{Pansen} mmol/l	-11.6+0.59*(Fut-N/VOS) (g/kg)	0.83	NH ₃ -N _{Pansen} : 8–20 mmol/l Fut-N/VOS : 34-54 g/kg	Van Vuuren et al 1993
	15.76+29.41*RNB (g/MJ UE)	0.77	NH ₃ -N _{Pansen} : 1–25 mmol/l RNB : -0.7–0.25 g/MJ UE	Lebzien et al 2006
NH ₃ -N _{Pansen} mg/dl	6.43+0.686*MUN (mg/dl)	0.574	MUN: 3.8 – 28 mg/dl	Broderick und Clayton 1997



RP %	MUN mg/dl	UUN g/Tag	UUN % UN	Kot-N g/Tag
13.5	7.7	63	55.4	196
15.0	8.5	91	64.7	176
16.5	11.2	128	72.1	196
17.9	13.0	174	81.0	197
19.4	15.6	208	81.8	210

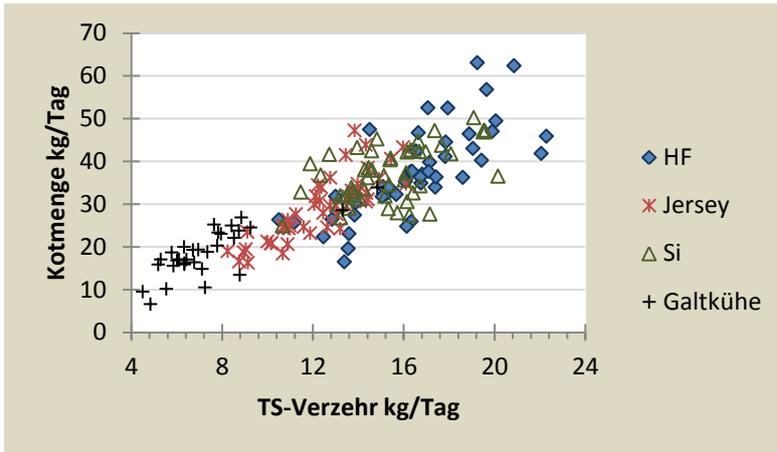
Abbildung 11. Einfluss des RP-Gehaltes einer Ration aus Luzerne- und Maissilage und 50 % Kraftfutter bestehend aus Sojaschrot und entschälten Maiskörnern auf die Ammoniakkonzentration im Pansen und die Harnstoffausscheidung im Harn und der Milch (Olmos Colmenero et al 2006).

Die Frage nach dem minimalen Ammoniakgehalt im Pansen zur Aufrechterhaltung der Mikroorganismensyntheseleistung, die ihrerseits die Nährstoffverwertung bestimmt, wird kontrovers diskutiert. Die Untergrenze ist abhängig vom Futtertyp (Walker et al 2005). Sobald die Faser- und OS-Verdaulichkeit zurückgeht, werden der Verzehr und die Milchleistung abfallen. Diese Grenze wurde im Versuch von Kröber et al (1999) bei einem RP-Gehalt der Ration von 11 %, einem ruminalen Ammoniakgehalt von 3.1 mg/dl (Tagesmittelwert) und einem Milchwahstoffgehalt von 11.5 mg/dl erreicht. Aspekte der Pansensynchronisation wurden bereits angesprochen und werden in Kap. 2.4 nochmals aufgegriffen.

Neben der N-Aufnahme bestimmt die ileale Verdaulichkeit (Stufe Dünndarm), wie viel N in den Dickdarm abfließt und im **Kot** ausgeschieden wird. Aufgrund des Pansenabbaues des Futterproteins ist im Kot vorwiegend unverdautes mikrobielles Protein (70 – 85 %) vorzufinden (Susenbeth 2008). Da die mikrobielle Proteinsynthese an die Aufnahme von VOS gekoppelt ist, ist die Kotmenge und fäkale N-Ausscheidung enger mit dem TS-Verzehr und N-Aufnahme als mit dem RP-Gehalt der Ration korreliert und zeigt keine Beziehung zum Milchwahstoffgehalt (Tab. 5, Abb. 12). Der Kot-N variiert somit unabhängig vom Harnstoff-Turnover. Peyraud postuliert sogar einen konstanten Wert von 7.2 g Kot-N pro kg Trockensubstanzverzehr, was in der Auswertung der Schweizer Datensätze nicht in dieser Grössenordnung bestätigt werden konnte (siehe Kap. 4).

Tabelle 5. Schätzungen zu Kot und Kot-N Ausscheidungen

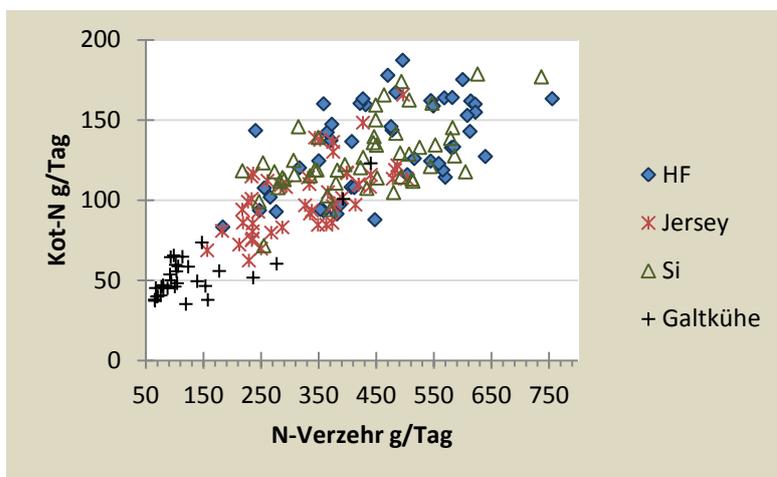
Kot	Regression	R ²	Bereich	Quelle
Kot kg/Tag	$1.48 + 2.26 \cdot \text{TSV}(\text{kg}/\text{Tag})$	0.72	Kot : 5 – 60 kg/Tag TSV : 5 – 23 kg/Tag	Diss Mürger 1997 galt+lakt.
	$-10.8 + 2.54 \cdot \text{TSV}(\text{kg}/\text{Tag})$	RMSE 3.86	Kot : 35 – 71 kg/Tag TSV : 17 – 30 kg/Tag	Weiss et al 2009b
vRP fäkal	$0.085221 + 0.005021 \cdot \text{RP}_{\text{TS}} - 0.000009 \cdot (\text{RP}_{\text{TS}})^2$	0.89	vRP: 0.31-0.80 RP _{TS} : 65 – 250 g/kg TS	Diss van Dorland, Guidon, Hindrichsen, Mürger, Sutter, Kröber, Külling
Kot-N / N _{intake} %	$94.87 + 0.04 \cdot (\text{N}_{\text{TS}})^2 - 3.52 \cdot \text{N}_{\text{TS}}$ (g/kg)	0.91	Kot-N/N _{intake} : 20–70 % N _{Ration} : 11–40 g/kg TS	Diss Mürger 1997 galt+lakt.
Kot-N/TSV g/kg	7.2			Peyraud 2008
Kot-N / N _{intake} g/g	$0.173 - 0.001 \cdot \text{RP}_{\text{TS}} + 0.0006 \cdot \text{NDF}_{\text{TS}}$	0.60	Kot-N: 0.21–0.44 g/g Fut- N RP _{TS} : 92 – 283 NDF _{TS} : 331– 589 g/kg TS	Vibart et al 2009 Metaanalyse Raygrasrationen Weide, Stall
Kot-N kg/ha	$5.4 + 0.116 \cdot \text{Weidefuttermenge}/\text{ha}$ Vollweide	0.87	Kot-N: 50-120 kg/ha WFT: 400-1000 Tage/ha	Vérité und Delaby 1998
Kot-N g/Tag	$62.032 + 0.1466 \cdot (\text{N}_{\text{intake}}) \text{ g}/\text{Tag}$	0.452	Kot-N: 70–190 g/Tag N _{intake} : 150-760 g/Tag	Diss Mürger 1997 lakt
	$-189.51 + 52.073 \cdot \ln(\text{N}_{\text{intake}}) \text{ g}/\text{Tag}$	0.70	Kot-N: 30–190 g/Tag N _{intake} : 60-760 g/Tag	Diss Mürger 1997 lakt+galt
	$-37 + 8 \cdot \text{TSV} + 6 \cdot \text{RP}_{\text{intake}}(\text{kg}/\text{Tag})$			Faverdin und Vérité 1998
	$76.7 + 0.16 \cdot \text{N}_{\text{intake}} (\text{g}/\text{Tag})$	0.30	Kot-N: 110 – 180 g/Tag N _{intake} : 300 - 600 g/Tag	Kebreab et al 2001
	$46.6 + 0.2 \cdot \text{N}_{\text{intake}} (\text{g}/\text{Tag})$	0.32	Kot-N: 125 – 150 g/Tag N _{intake} : 360 - 570 g/Tag	Castillo et al 2001
	$339.7 + 0.657 \cdot \text{RP}_{\text{TS}} + 0.534 \cdot \text{NDF}_{\text{TS}} + 0.434 \cdot \text{NFC}_{\text{TS}}$ Gehalte in g/kg TS	0.27	Kot-N: 82 – 193 g/Tag RP _{TS} : 92 – 283 NFC _{TS} : 42 – 330 NDF _{TS} : 331– 589 g/kg TS	Vibart et al 2009 Literaturdaten Raygrasrationen Weide, Stall



Kotmenge korreliert mit dem TS-Verzehr der Ration.

$$y = 1.48 + 2.26 \cdot \text{TSV (kg/Tag)}$$

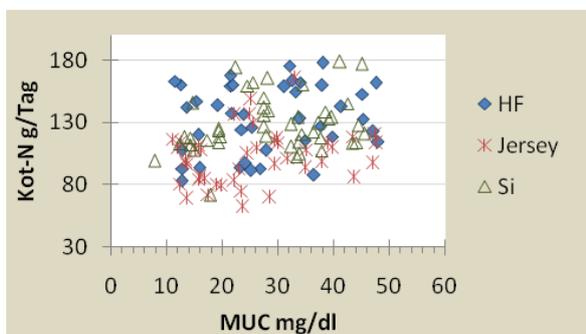
$$R^2 = 0.72$$



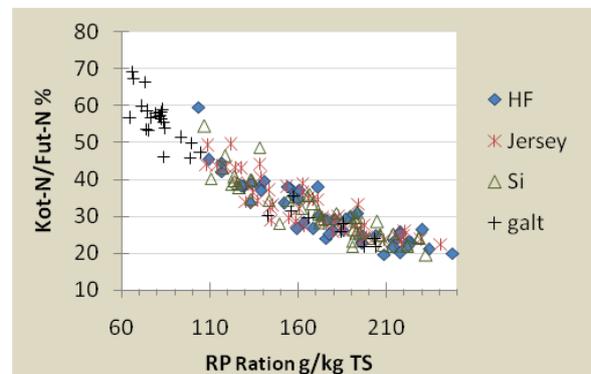
Kot-N korreliert mit der N-Aufnahme.

$$Y = -189.51 + 52.073 \cdot \ln(N_{\text{Verz}})$$

$$R^2 = 0.70$$



Kot-N korreliert nicht mit dem Milchharnstoffgehalt



Hohe Korrelation zwischen Kot-N in % der Fut-N_{Aufnahme} und dem RP-Gehalt der Ration

Abbildung 12. Kotmenge und Kot-N in Abhängigkeit von TS- und N-Verzehr, Milchharnstoffgehalt, Rasse und Produktionsstadium von Milchkühen (Münger 1997)

Aus unseren Auswertungen verschiedener Schweizer Datensätze konnte eine curvilineare Abhängigkeit der fäkalen Verdaulichkeit zum RP-Gehalt von Winter- und Sommerrationen abgeleitet werden (Abb.13).

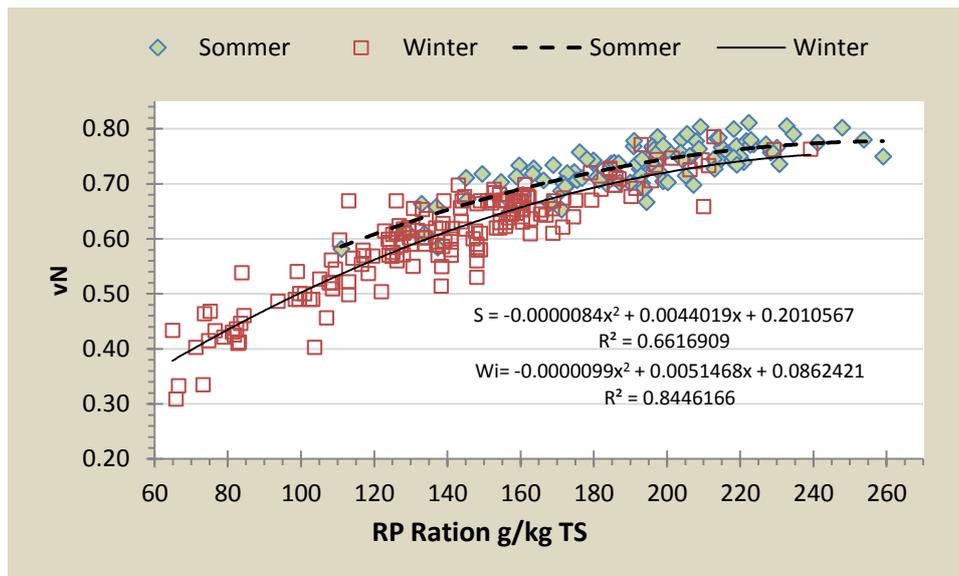


Abbildung 13. Abhängigkeit zwischen fäkaler Verdaulichkeit des RP und dem RP-Gehalt von Winter- und Sommerrationen (Dissertationen von Dorland, Guidon, Hindrichsen, Kröber, Külling, Münger, Sliwinsky, Sutter, Wettstein)

Mit den vorgeschlagenen Schätzgleichungen zur fäkalen vRP lässt sich die Kot-N-Menge berechnen, wenn der Futterverzehr und der RP-Gehalt der Ration bekannt sind. Mit zunehmendem Proteingehalt verflacht die Kurve, um bei einer Verdaulichkeit von 80 % ein Plateau zu erreichen. Es ist zu bedenken, dass die fäkale Verdaulichkeit beim Wiederkäuer als scheinbare Verdaulichkeit zu werten ist. Bei hohem RP-Gehalt der Ration „verschwindet“ ein Teil des N als Ammoniak über die Pansenwand und wird im Harn ausgeschieden, was zu hohen scheinbaren Verdaulichkeiten führt.

Die besondere Emissionsrelevanz des Harnes und der **Harn-N-Faktionen** hat zu zahlreichen Regressionsgleichungen geführt (Tab. 6, 7). Das **Harnvolumen** wird in erster Linie durch die **Na-** und **K-**Ausscheidung (Bannink et al 1999) und durch die anfallende Harnstoffmenge bestimmt, so dass sich eine Beziehung zum Rohproteingehalt der Ration ergibt (Abb.14). Kaliumreiches Wiesenfutter und Konserven davon verursachen daher hohe Harnvolumen. Da die Na- und K-Aufnahme und der Mineralstoffgehalt der Ration häufig ungenügend bekannt sind, greift man auf Kreatinin, einen internen Marker, zurück. **Kreatinin** ist ein Abbauprodukt des Muskelstoffwechsels. Die Kreatininausscheidung verläuft proportional zur Muskelmasse und ist von der Fütterung unabhängig. Es wird eine relativ konstante Kreatininausscheidung mit enger Korrelation zum Körpergewicht postuliert (Kehraus et al 2006). Bei bekanntem Kreatininkoeffizient in mg/kg LG und der Kreatininkonzentration im Harn lässt sich die Harnmenge berechnen. Allerdings gibt es keinen universellen Kreatininkoeffizienten. Er muss für jede Rasse und Produktionstyp ermittelt werden. So geben Valdares et al (1999) für US Holstein einen Wert von 29 mg Kreatinin/kg LG an, während Pacheco et al (2009) bei NZ

Holstein-Kühen einen Koeffizienten von 21.9 mg/kg LG ermittelte. Ob die Kreatininausscheidung wirklich so konstant ist, darf bezweifelt werden. In den Bilanzversuchen von Guidon (1989) variiert der Kreatininkoeffizient in den ersten 8 Laktationswochen von Braunviehkühen zwischen 25.4 und 37.8 mg/kg LG.

Tabelle 6. Schätzungen des Harnvolumens

Harn	Regression	R ²	Bereich	Quelle
Harnvolumen kg/Tag	$-13.69 + 1.46 \cdot N_{\text{Ration}}(\text{g/kg TS})$	0.62	Harn: 3 – 65 kg/Tag N _{Ration} : 11 – 39 g/kg TS	Diss Münger 1997 galt+lakt.
	a) $0.1343 \cdot \text{Harn-Na} + 0.0612 \cdot \text{Harn-K} + 0.0239 \cdot \text{Harn-N}$	0.898	Harn: 11 – 66 kg/Tag Harn-Na: 0.3 - 177 g/Tag Harn-K: 76.5 – 580 g/Tag Harn-N: 110 – 431 g/Tag	Bannink et al 1999
	b) $0.1153 \cdot \text{Fut-Na} + 0.0577 \cdot \text{Fut-K}$ (g/Tag)	0.848	Fut-Na: 15-223 g/Tag Fut-K: 158-641 g/Tag	
	$-2.91 + 19.2 \cdot K_{\text{TS}}(\%)$	RMSE 4.81	Harn: 3 – 60 kg/Tag K _{TS} : 1.44 -1.93 %	Weiss et al 2009b
	$21.9 (\text{mg/kg}) \cdot \text{LG} (\text{kg}) / \text{Kreatinin}$ (mg/kg Harn)		NZ HF Kühe, 500 kg LG	Pacheco et al 2009
	$29.0 (\text{mg/kg}) \cdot \text{LG} (\text{kg}) / \text{Kreatinin}$ (mg/l Harn)		US HF Kühe, 610 kg LG 40 kg Milch	Valadares et al 1999
$73.8 - 0.943 \cdot \text{NFC}_{\text{TS}} (\%)$	0.584	NFC _{TS} : 24.5 – 42.8 % Harn: 30 – 51 kg/Tag	Valadares et al 1999	
Harn kg /100 kg LG	$0.049 + 0.049 \cdot K_{\text{intake}} (\text{g}/100 \text{ kg LG})$	0.97	Harn: 1-5 kg/100 kg LG K _{intake} : 30-110 g/100 kg LG	Diss Leiber F. 2005

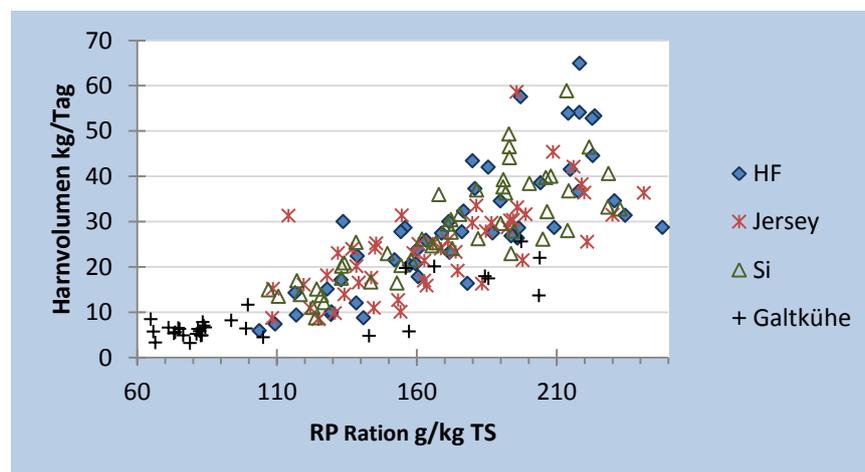


Abbildung 14. Harnvolumen in Abhängigkeit des Rohproteingehaltes der Ration, der Rasse und des Produktionsstadiums von Milchkühen (Münger 1997)

Ein weiterer Harnmarker wird benutzt, um die mikrobielle Proteinsynthese im Pansen zu schätzen. Es handelt sich um das **Allantoin**, ein Abbauprodukt der mikrobiellen Nucleinsäuren, die intermediär nicht verwertet werden können. Zur Schätzung des mikrobiellen Proteinflusses im Dünndarm unterstellt man konstante Verhältnisse zwischen dem Nucleinsäuren-N am Gesamt-N der Pansenmikroben, der bei 20 % angesetzt wird

(Kehraus et al 2006, Tas und Susenbeth 2007). Die Allantoinmethode ist als Vorgehensweise weit weniger invasiv als die Probennahme bei am Darm fistulierten Tieren, aber wenn das Harnvolumen auch nur geschätzt wurde, hat man am Schluss eine Schätzung von einer Schätzung. Eine geringe Menge Allantoin wird über die Milch ausgeschieden. Der Allantoingehalt in der Milch eignet sich allerdings nicht als Schätzparameter des Mikrobenproteins, da im Euter Purinderivate katabolisiert werden (Tas und Susenbeth 2007). Hingegen zeigen neuere Untersuchungen, dass mit dem **Fettsäureprofil** der **Milch** sowohl ein Bezug zur Pansenfermentation wie zur mikrobiellen Biomasse im Darm hergestellt werden kann (Vlaeminck et al 2005, 2006). Als Marker eignen sich die ungeradzahigen und verzweigt-kettigen Fettsäuren der Kettenlänge C13:0, C15:0, C:17:0 und C:17:1. Dieser nicht-invasive Ansatz zur Schätzung der mikrobiellen Proteinsynthese wäre als vielversprechende Stossrichtung weiterzuverfolgen. Allantoin und Kreatinin haben insofern eine emissionsrelevante Bedeutung, als sie N-haltige Verbindungen sind, die allerdings unvermeidbar sind. Bei knapper Proteinversorgung können sie bis zu 42 % des Harn-N ausmachen (Kröber 2000).

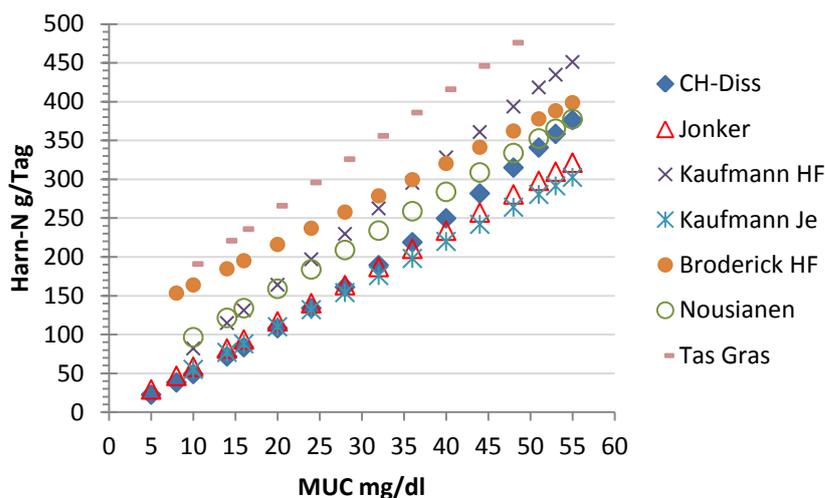


Abbildung 15.
Vergleich von Regressions-
tionen zur Schätzung des
Harn-N anhand des
Milchharnstoffgehaltes
(Daten aus Tab. 7)

Die Schätzung der Harn-N-Ausscheidung anhand des **Milchharnstoffgehaltes** bietet sich an, da beide Größen Parameter des Harnstoffumsatzes sind. Es hat zudem den Vorteil, nicht auf eine Harnsammlung angewiesen zu sein. Entsprechende Beispiele sind in Tab. 7 und Abb. 15 zusammengestellt. Die Gegenüberstellung von Regressionswerten verschiedener Untersuchungen, die sich nur auf den Milchharnstoffgehalt abstützen, zeigt Unterschiede in der Steigung wie auch im Ausgangsniveau der Kurvenverläufe. Einflüsse von Rasse, Leistungsniveau und Rationstyp werden angedeutet. Jersey Kühe haben bei gleicher Harn-N-Menge einen höheren Milchharnstoffgehalt als Holsteinkühe, da ein kleineres Flüssigkeitsvolumen (Körpervolumen) zur Verfügung steht. Bei Grasrationen wird bei gleichem

Milchharnstoff mehr Harn-N ausgeschieden. Die Aufschlüsselung der Daten aus der Dissertation Münger nach Winter- und Sommerfütterung bestätigt den Effekt des Rationstyps, verdeutlicht aber auch die Streuung der Einzeltierwerte, die mit ansteigendem Milchharnstoff zunimmt (Abb. 16). De Campeneere et al (2006) argumentieren, dass Grünfütter und Grünfütterkonserven mit hohem K-Gehalt die Harnproduktion erhöhen und dadurch pro Zeiteinheit mehr Harnstoff aus dem Blut entfernt wird, so dass der Milchharnstoffgehalt im Verhältnis zur Harn-N-Ausscheidung tiefer liegt.

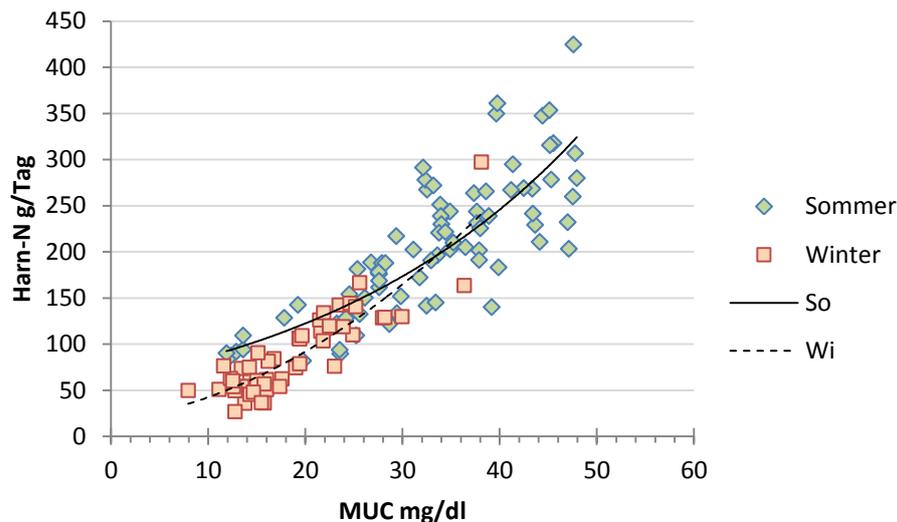


Abbildung 16. Harn-N-Menge in Abhängigkeit von Milchharnstoff und Rationstyp (Münger 1997)

Tabelle 7. Schätzungen zu Harn-N und Harnstoffausscheidungen

Harn	Regression	R ²	Bereich	Quelle
Harn-N/ N _{intake} g/g	$0.039 + 0.0033 \cdot RA_{TS} + 0.001 \cdot RP_{TS} - 0.0005 \cdot WSC_{TS}$	0.73	Harn-N: 0.18-0.62 g/g N RP _{TS} : 92 – 283 g/kg TS WSC _{TS} : 30 – 271 g/kg TS RA _{TS} : 55-124 g/kg TS	Vibart et al 2009 Literaturdaten Raygrasrationen Weide, Stall
Harn-N/ N _{intake} %	$21.48 + 0.03 \cdot (N_{TS})^2 - 0.40 \cdot N_{TS}$ (g/kgTS)	0.52	Harn-N/ N _{intake} : 10–70 % N _{TS} Ration: 11 – 40 g/kg TS	Diss Münger 1997 galt+lakt.
Harn-N/N- Exkr %	$3.5056 + 0.2913 \cdot RP_{Ration}$ (g/kg TS)	0.751	Harn-N/N-Exkr: 15-75 % RP _{Ration} : 60-250 g/kg TS	Diss Münger 1997 lakt.
	$-33.604 + 26.982 \ln(MUC)$ mg/dl	0.747	Harn-N/N-Exkr: 15-75 % MUC: 8-48 mg/dl	
UUN g/l	$-1.16 + 0.86 \cdot N\text{-Harn}$ (g/kg)	0.97	N-Harn: 4-15 g/kg Harnstoff-N: 3-12 g/kg	De Boer et al 2002
UUN mg/dl	$47.67 \cdot PUN - 0.49 \cdot PUN^2$ (mg/dl)	0.94	Harnstoff-N: 160 – 1000 mg/dl PUN: 5 – 32 mg/dl	Burgos et al 2007
Harn-N g/Tag	$-2.119 + 4.735 \cdot MUC + 0.039 \cdot (MUC)^2$ (mg/dl) 4 Rassen	0.837	Harn-N: 25 – 425 g/Tag MUC: 4.5 – 48	Diss Guidon, Münger, Sutter
	$-37.586 + 15.499 \cdot MUN$ (mg/dl) 3 Rassen	0.804	Harn-N: 25 – 425 g/Tag MUN: 3.5–23	Diss Münger 1997
	$-1.0046 + 0.1952 \cdot N_{intake} + 0.0005 \cdot (N_{intake})^2$ (g/Tag)	0.721	Harn-N: 10 – 425 g/Tag Nintake: 60 - 760 g/Tag	Diss Münger galt+lakt 1997

	$16.595 - 0.5938 \cdot RP_{TS} + 0.0079 \cdot (RP_{TS})^2$	0.766	Harn-N: 10 – 425 g/Tag RP _{TS} : 60-250 g/kg TS	
	12.54*MUN (mg/dl)		Harn-N : 125 – 400 g/Tag MUN: 10 – 30 mg/dl	Jonker et al 1998
	$0.003 \cdot N_{\text{intake}}^{(1.8)}$ (g/Tag)	0.67	Harn-N: 90 – 300 g/Tag Nintake: 300 - 600 g/Tag	Kebreab et al 2001
	$21.0^{(0.046 \cdot N_{\text{intake}})}$ (g/Tag)	0.74	Harn-N: 150 – 350 g/Tag Nintake: 360 - 570 g/Tag	Castillo et al 2001
	6.05+23.8*MUN (g/Tag) Braunvieh	0.82	Harn-N: 40 – 200 g/Tag MUN: 1.8 – 10 g/Tag	Diss Külling 2000
	36.8 + 10.2* MUN (g/Tag)	0.43	Harn-N: 20 – 200 g/Tag MUN: 1 – 14 g/Tag	Kreuzer et al 1999
	17.6*MUN(mg/dl) Holstein 678 kg 11.8*MUN(mg/dl) Jersey 470 kg 0.0259*LG(kg)*MUN (mg/dl)	0.98	Harn-N: 70 – 225 g/Tag MUN: 5-14 mg/dl LG: 470-678 kg	Kauffman et al 2001
	4.4*MUC(mg/dl)+1.9*Milch(kg/Tag) Maissilagerationen	0.77	Harn-N: 74-219 g/Tag MUC: 7.1-37.3 g/Tag Milch: 13-38.5 kg/Tag	Faverdin und Vérité 1998
	44.7+1349*MUN(g/kg)+1.91*milk-N (g/Tag)-10.87*milk (kg/Tag)	0.846	Harn-N: 80 – 450 g/Tag Milch-N: 90 – 175 g/Tag	Bannink und Hindle 2003
	111.6 + 11.2*MUN (mg/dl)	0.731	Harn-N: 120 – 358 g/Tag MUN: 3– 22 mg/dl	Broderick 2003
	34+13.4*MUN (mg/dl) -28+12.8*MUN (mg/dl)+2.49*Milch (kg/Tag) -262+2.64* RP _{Ration} (g/kg TS) +1.66*Milch (kg/Tag)	0.736 0.759 0.863	Harn-N: 75 – 395 g/Tag MUN: 3.8 – 27 mg/dl RP : 110 – 260 g/kg TS Milch: 13 – 36.3 kg/Tag	Nousianen et al 2004 Metaanalyse Grassilage
	115.8+16.1*MUN (mg/dl) 2000 117.9+9*MUN (mg/dl) 2001 -147.5+0.812*N _{intake} (g/Tag)	0.74 0.09! 0.88	Harn-N: 108 – 450 g/Tag MUN: 5 – 26 mg/dl Nintake: 350 -800 g/Tag	Tas 2006 Raygrasrationen
	$443.3 + 1.137 \cdot RP_{TS} - 0.68 \cdot NDF_{TS} - 0.638 \cdot WSC_{TS}$	0.71	Harn-N: 64- 437 g/Tag RP _{TS} : 92 – 283 g/kg TS WSC _{TS} : 30 – 271 g/kg TS NDF _{TS} : 331– 589 g/kg TS	Vibart et al 2009 Metaanalyse Raygrasrationen Weide, Stall
	$588.6 - 38.0 \cdot \text{Luz}(\%) - 55.8 \cdot \text{MP}_{TS}(\%) - 27.9 \cdot \text{ST}_{TS}(\%) + 2.64 \cdot \text{MP} \cdot \text{ST} + 0.327 \cdot N_{\text{intake}}$ (g/Tag)	RMSE 27.0	Harn-N: 91-324 g/Tag Luzerneanteil: 25-75 % des Raufutters MP _{TS} : 8.8-12 % (=“APD“) ST _{TS} : 22-30 % Nintake: 438-811 g/Tag	Weiss et al 2009b Hochleistungs- kühe
UUN g/Tag	$-314 + 42.1 \cdot \text{NFC}_{TS} - 0.683 \cdot (\text{NFC}_{TS})^2$ (NFC in %)	0.81	UUN: 230-350 g/Tag NFC _{TS} : 24.5 – 42.8 %	Valadares et al 1999 Luzernesil.+Kf
UUN g/Tag	88.8+11.6*MUN (mg/dl)	0.731	UUN: 110 – 344 g/Tag MUN: 3– 22 mg/dl	Broderick 2003
UUN g/Tag	-37.33+16.01*MUN (mg/dl) Mitte Laktation -49.95+18.67*MUN-0.17*MUN ² (mg/dl) Start+Ende	0.99 0.97	UUN: 50 – 380 g/Tag MUN: 5 – 32 mg/dl	Burgos et al 2007
Harn-N kg/ha	-136+0.585*Weidefuttermenge/ha Vollweide	0.88	Harn-N: 98-450 kg/ha WFT: 400-1000 Tage/ha	Vérité und Delaby 1998

Die Korrelation der Harn-N-Menge mit dem Milchwahnhstoff in mg/dl oder g/Tag ergibt zum Teil schlechte (Kreuzer 1999) bis keine Beziehungen. Bei Grünfütterung gibt es offensichtliche Jahreseinflüsse (Tas 2006).

Der Bezug der Harn-N-Menge zu **Rationsmerkmalen** liefert weitere Regressionsgleichungen mit hohen Bestimmtheitsmassen (Tab. 7). Dazu gehören die N-Aufnahme, der RP-Gehalt der Ration und Kohlenhydratfraktionen der Ration. Stärke, *Water Soluble Carbohydrates* (WSC) und *Nonfiber Carbohydrates* (NFC) sind negativ mit der Harn-N-Menge korreliert. Der Einfluss der Rationszusammensetzung wird in einfachen und multiplen Regressionsgleichungen ausgedrückt, wobei die Effekte häufig nicht mehr linearer Natur sind.

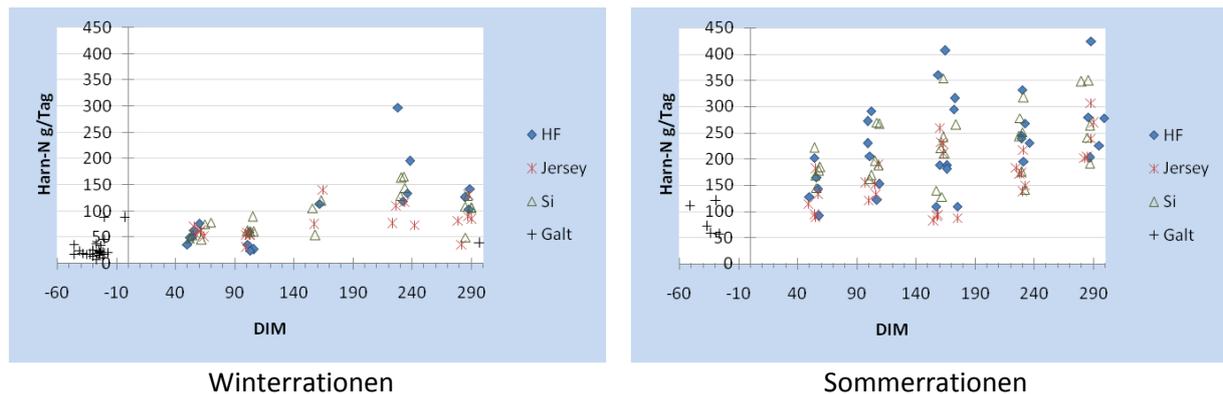


Abbildung 17. Einfluss des Laktationsstadiums, der Rasse und des Rationstyps auf die Harn-N-Ausscheidung (Münger 1997)

Der Einfluss des **Laktationsstadiums** und damit der Milchleistung, welche den Futterverzehr und die Nährstoffversorgung mitbestimmt, auf die ausgeschiedene Harn-N-Menge wird von der Rationszusammensetzung stark überlagert (Abb. 17). Die höchsten Harn-N-Mengen werden Mitte bis Ende der Laktation ausgeschieden. Sommerationen verursachen unabhängig vom Laktationsstadium höhere Harn-N-Ausscheidungen als Winterationen bei generell grösserer Variationsbreite.

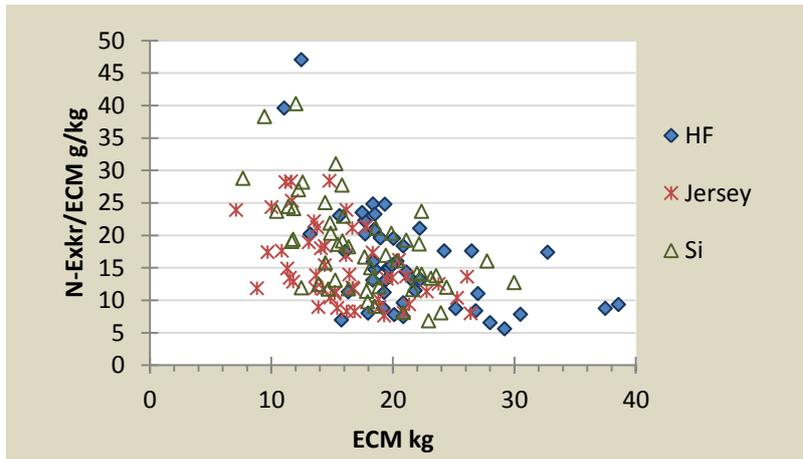
Der gesamte **N-Anfall** als Summe von Kot-N und Harn-N lässt sich besser über die N-Aufnahme als allein über den Milchharnstoff schätzen (Tab. 8). Die Milchleistung genügt als Angabe nicht (Regression von Yan et al 2006). Erst in Kombination mit weiteren Parametern wie dem RP-Gehalt der Ration, der N-Aufnahme und dem Milchharnstoff wird die Schätzgenauigkeit besser. Regressionen mit der N-Aufnahme als Parameter zur Schätzung der totalen N-Ausscheidung ergeben ein recht einheitliches Steigungsmass von 0.71 – 0.76 bei hohen Bestimmtheitsmassen (Diss Münger 1997, Yan et al 2006, Weiss et al 2009). Aus diesem Steigungsmass kann direkt die N-Effizienz von Milchkühen abgeleitet werden, die demnach 24 – 29 % betragen würde.

Tabelle 8. Schätzungen zu Exkrementanfall (Kot+Harn) und Exkrement-N Ausscheidungen

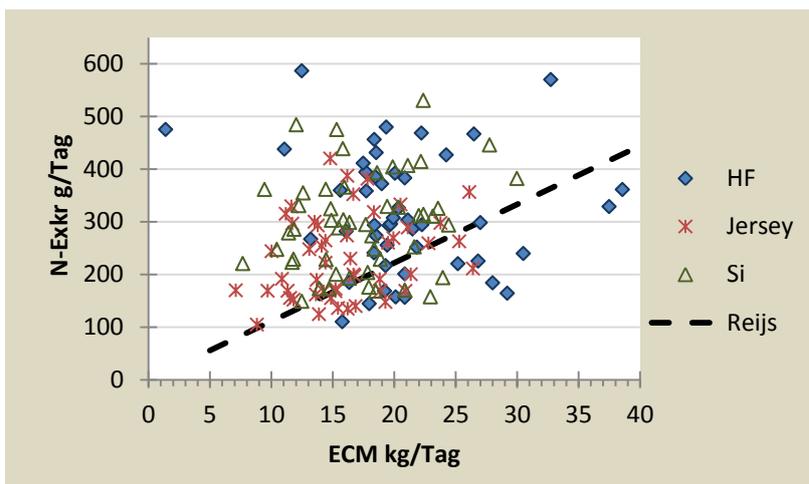
Kot +Harn	Regression	R ²	Bereich	Quelle
Ntot g/kg TS Gülle	$- 11.38+2.53*N_{\text{Ration}} \text{ (g/kg TS)}$	0.86	N _{Ration} : 12–31 g/kg TS Ntot: 27–70 g/kg TS	Flückiger 1989
NH ₄ -N g/kg TS	$- 24.78+2.0*N_{\text{Ration}} \text{ (g/kg TS)}$	0.83	N _{Ration} : 12–31 g/kg TS NH ₄ -N: 27–70 g/kg TS	
Exkr kg/Tag	$9.4+2.63*TSV \text{ (kg/Tag)}$	RMSE 7.1	Exkr: 25-110 kg/Tag TSV: 7-33 kg/Tag	Nennich et al 2005
Exkr-N g/Tag	$43.1+0.36*MUC \text{ (mg/l)}+6.0*Milch \text{ (kg)}$	0.76	MUC: 170-442 mg/l	De Brabander et al 1998
	$65.598+7.872*MUC \text{ (mg/dl)}$	0.713	N _{Exkret} : 100-600 g/Tag MUC: 8 – 47 mg/dl	Diss Mürger 1997 lakt 3 Rassen
	$-22.092 + 0.7507*N_{\text{intake}} \text{ (g/Tag)}$	0.857	N _{Exkret} : 100-600 g/Tag N _{intake} : 160 –760 g/Tag	
	$111.117+5.426*MUC+0.031*MUC^2$ 4 Rassen	0.721	N _{Exkret} : 100-600 g/Tag MUC: 4.5 – 48 mg/dl	Diss Guidon, Mürger, Sutter
	$124+1320*MUN \text{ (g/kg)}+1.87*Milch-N \text{ (g/Tag)}-6.9*Milch \text{ (kg/Tag)}$	0.80	N _{Exkret} : MUN: Milch-N: 90 – 175 g/Tag	Bannink und Hindle 2003
	$84.1*TSV \text{ (kg)}*RP \text{ (g/g TS)}+0.196*LG \text{ (kg)}$	RMSE 51.4	N _{Exkret} : 180-740 RP: 0.124–0.244 g/g TS TSV: 6.8 – 32.9 kg/Tag	Nennich et al 2005
	$181 + 7.96*Milk \text{ (kg/Tag)}$ $5 + 0.713*N_{\text{intake}} \text{ (g/Tag)}$ $-44+(0.00287*LG+0.02429*Milk)*RP_{\text{TS}}$	0.298 0.901	N _{Exkret} : 150 – 700 g/Tag N _{intake} : 130-900 g/Tag LG: 385-781 Milk: 6.1-49.1 kg/Tag RP _{TS} : 106-271 g/kg TS	Yan et al 2006 v.a. Grassilage- rationen
	$428.3+167*RP_{\text{TS}}-0.588*WSC_{\text{TS}}-0.569*NDF_{\text{TS}}$ Gehalte in g/kg TS	0.70	N _{Exkret} : 159 – 630 g/Tag RP _{TS} : 92 – 283 WSC _{TS} : 30 – 271 NDF _{TS} : 331– 589 g/kg TS	Vibart et al 2009 Metaanalyse Raygrasrationen Weide, Stall
	$-55.8 + 0.757*N_{\text{intake}} \text{ (g/Tag)}$ $-79.6 + LUZ \text{ (%Raufutter)}*50.8 + 0.75*N_{\text{intake}}$	RMSE 26.5 25.3	N _{Exkret} : 289-593 g/Tag Luzerneanteil: 25-75 % des Raufutters N _{intake} : 438-811 g/Tag	Weiss et al 2009 b
Exkr-N/ ECM g/kg	$-2.35+0.137+DVE_{\text{supply}} \text{ (%)}$ $+0.0039*OEB \text{ (g/Tag)}$ DVE=100% und OEB=0 → 11.4 g N/kg ECM	0.82	N _{Exkret} : 10-19 g/kg ECM ECM: 22-32 kg OEB: -463-714 g/Tag DVE: 84-140%	Diss Reijs 2007
Exkr-N kg/ha	$-130.6+0.701*Weidefuttertage \text{ /ha}$		Exkr-N: 150-550 kg/ha WFT: 400-1000 Tage/ha	Vérité und Delaby 1998

Reijs (2007) hat anhand von Betriebsdaten eine Regressionsgleichung zur Berechnung der N-Exkretion pro kg ECM abgeleitet, die die APD-Versorgung und die ruminale Proteinbilanz als Inputvariablen verwendet. Bei bedarfsgerechter Proteinversorgung und ausgeglichener ruminaler Bilanz wird pro kg ECM 11.4 g N ausgeschieden. Aus den Daten der Dissertation Mürger (Abb. 18) ist ersichtlich, dass mit zunehmender Milchleistung die relativen N-Ausscheidungen zurückgehen. Die Spannweite der Werte zeigt auch, dass, bei einer gegebenen Milchmenge, Reduktionspotenzial in den gesamten N-Ausscheidungen vorhanden ist. Die Mehrheit der Werte liegt oberhalb der von Reijs postulierten optimalen N-Menge. Die Milchleistung allein ist ein ungenügendes Kriterium für die Schätzung der N-Ausscheidungen. Die Gesamtausscheidungen sind wie oben bereits erwähnt eng mit der N-Aufnahme korreliert.

Falls der Verzehr nicht bekannt ist, kann aus der Kombination aus RP-, WSC- und NDF-Gehalt der Ration eine Schätzung gemacht werden (Vibart et al 2009). Bannink und Hindle (2003) stützen sich auf MUN und die Milchleistung zur Vorhersage der Gesamtausscheidungen.



a) N-Exkretion pro kg ECM



b) N-Exkretion pro Tag

Abbildung 18. N-Exkretion in Abhängigkeit von der Milchleistung (Münger 1997)

Die vollständigen N-Bilanzdaten der Respirationsversuche von Münger (1997) verdeutlichen nochmals die Abhängigkeit der N-Ausscheidungen von der N-Aufnahme (Abb. 19). Die Kot-N-Gerade und Milch-N verlaufen sehr flach, während der Harn-N wesentlich steiler ansteigt. Es gibt einen Schnittpunkt bei rund 350 g Fut-N, oberhalb dessen die Harn-N-Menge die Kot-N-Menge übersteigt. In Einzelfällen wurde eine hohe positive N-Bilanz gemessen, die nicht mit Körperwachstum und Trächtigkeit allein zu erklären ist.

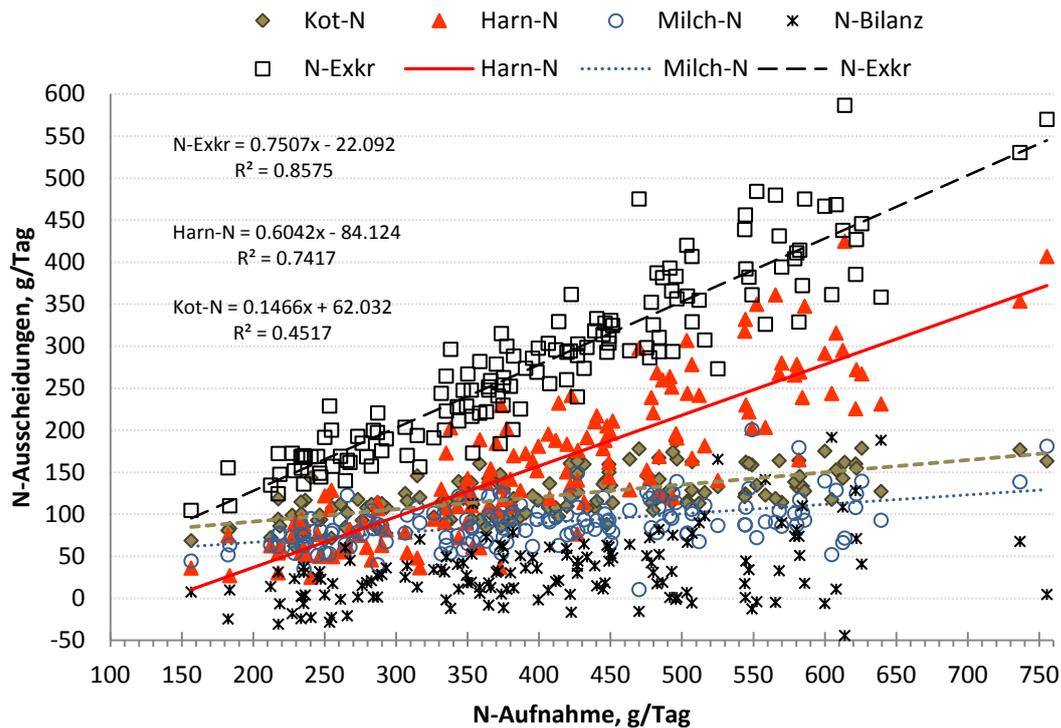


Abbildung 19. Vollständige N-Bilanz von laktierenden Milchkühen bei Winter- und Sommerfütterung (Münger 1997)

Wie in Tabelle 9 und Abbildung 20 und 21 zusammengefasst, verläuft die N-Effizienz entgegengesetzt zum Harn-N-Anteil an den N-Ausscheidungen, zum Milchwahnhstoffgehalt und zum Rohproteingehalt der Ration, also mit genau jenen Grössen, die den Harnstoffturnover widerspiegeln. Die Reduktion der Harnstoffverluste verbessert die N-Effizienz. Auf Einzeltierbasis variiert die N-Effizienz im Vergleich ausgewerteter Schweizer Datensätzen zwischen 66 % und 2 % (Abb. 21), wobei Maximalwerte bei Laktationsbeginn mit Proteinunterversorgung und negativer N-Bilanz (Diss Guidon 1989) und Tiefwerte am Ende der Laktation bei tiefer Milchleistung auftreten. Das Laktationsstadium hat wegen sinkender Milchleistung einen negativen Einfluss auf die N-Effizienz (Yan et al 2006, Tab. 9; Abb. 21) und überlagert den Fütterungseinfluss, aber hohe Milchwahnhstoffgehalte korrelieren bei punktueller Betrachtung generell mit einer tiefen N-Ausnutzung. Die im Versuch EVWE (Abb. 21; Weidegras) realisierte N-Effizienz liegt auf einem durchwegs höheren Niveau, was mit dem hohen Leistungspotenzial der Kuhgruppe erklärbar ist.

Tabelle 9. Schätzgleichungen zur N-Effizienz

N-Effizienz	Regression	R ²	Bereich	Quelle
Milch-N / N _{intake} g/kg	0.309-0.004*MUN(mg/dl)	0.626	MUN: 3.8 – 28 mg/dl	Broderick und Clayton 1997
	369 - 6.6*MUN (mg/dl) -233+2.8*RP _{Ration} (g/kg TS) 304 – 7.0*MUN (mg/dl) + 2.5*Milch (kg/Tag)	0.567 0.853 0.651	N-Eff: 200 – 350 g N/kg N MUN : 4– 27 mg/dl RP : 110 – 260 g/kg TS Milch : 13.6-36 kg/Tag	Nousianen et al 2004
	350 – 0.672*RP _{TS} (g/kg) 280 - 0.359*DIM (Tage) 153 + 3.448*Milch (kg)	0.13 0.26 0.21	Milk: 6.1-49.1 kg/Tag RP _{TS} : 106-271 g/kg TS DIM: 16-422 Tage	Yan et al 2006
	475 – 1.21*RP _{TS} (g/kg) 421–0.36*RP _{TS} (g/kg) + 3.15*Milch(kg) 563–1.26*RP _{TS} (g/kg)-101*aRP (g/g)	RMSE 7.91 7.26 7.85	N-Eff: 164-402 g N/kg N RP _{TS} : 101-252 g/kg aRP: 0.54-0.83 Milch: 13-46 kg/Tag	Huhtanen et al 2009
Milch-N / N _{intake} g/g	0.359 – 0.0008*RP _{TS} (g/kg) + 0.0003*WSC _{TS} (g/kg)	0.65	N-Eff: 0.10-0.37 g N/g N RP _{TS} : 92 – 283 WSC _{TS} : 30 – 271	Vibart et al 2009 Metaanalyse Raygrasrationen Weide, Stall
Milch-N / N _{intake} %	48.443 – 0.1465*RP _{Ration} (g/kg TS)	0.552	N-Eff: 2.2-46 % RP _{Ration} : 110-250 g/kg TS	Diss Münger 1997 lakt
	43.265–0.3732*(Harn-N/Exkr-N)(%)	0.524	N-Eff: 2.2-46 % Harn-N-Anteil : 15-75 %	
	40.57-0.839*MUC+0.006*MUC ²	0.575	N-Eff: 2.2-46 % MUC: 8-48 mg/dl	

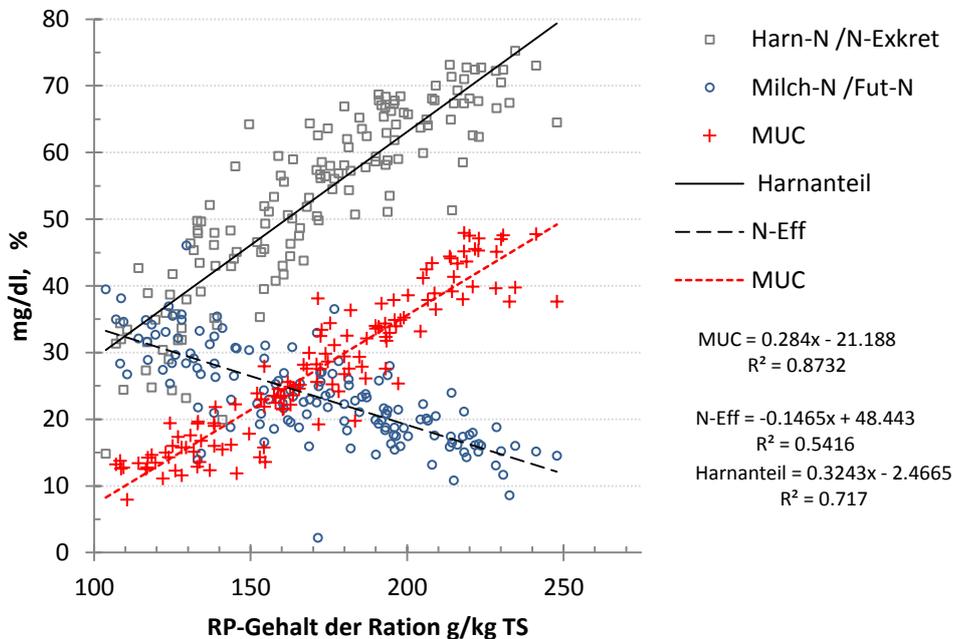


Abbildung 20. Harn-N-Anteil an den N-Ausscheidungen, Milchharnstoff und N-Effizienz von laktierenden Kühen in Abhängigkeit vom RP-Gehalt der Ration (Münger 1997).

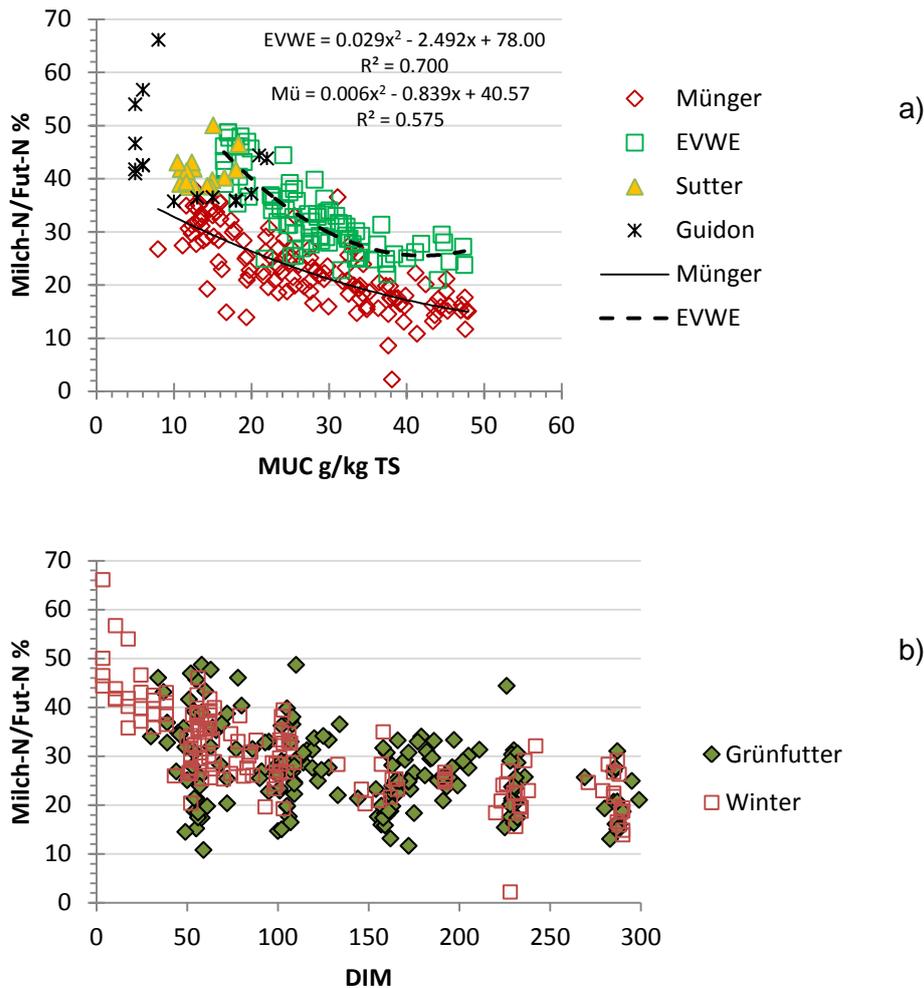


Abbildung 21. N-Effizienz ausgewerteter Schweizer Arbeiten in Abhängigkeit vom Milchharnstoffgehalt (a) und Laktationsstadium (b).

Die Effizienz der N-Verwertung über einen Produktionszyklus hängt von der Länge der Galtphase ab und auf Herden bzw. Betriebsbasis haben der Anteil Nachtzuchttiere und die Abgangsrate, d.h. **Nutzungsdauer**, einen entscheidenden Einfluss, so dass Milchleistungsunterschiede bis zu einem gewissen Grade sekundär werden. Im Betriebsmodell von Ryan et al (2011) haben Neuseeland Holsteiner mit einer Abgangsrate von 18 % eine N-Effizienz von 24.9 % erreicht gegenüber nordamerikanischen Holstein Kühen, die bei einer Abgangsrate von 37 % und einer um 1100 kg höheren Milchleistung auf eine N-Effizienz von 23.4 % kamen. Um Missinterpretationen vorzubeugen, ist bei der Beurteilung der N-Effizienz die Berechnungsmethode, die Bezugsbasis und die gewählte Systemgrenze genau zu definieren.

2.3. Milchwahnstoff

2.3.1. Beziehungen und Anwendungsbereich

Die in den Tabellen 4 bis 10 zusammengestellten Beziehungen und Schätzgleichungen belegen den direkten Zusammenhang des Milchwahnstoffes mit dem Hahnstoffturnover der Milchkühe im Pansen, Blut und Harn. Sehr enge Korrelationen bestehen zwischen dem Blut- und Milchwahnstoffgehalt (Tab. 10). Insgesamt sagt aber der Milchwahnstoff noch nichts darüber aus, aus welchen Hahnstoffpool er stammt. Den Ursachen von hohen Milchwahnstoffgehalten ist sorgfältig nachzugehen. In den einfachen und multiplen Regressionen sind der RP-Gehalt der Ration, die aRP, die N-Aufnahme, die ruminale Proteinbilanz, die APD-Bilanz, Kohlenhydrate, und Protein/Energieverhältnisse signifikante Variationsursachen. Eine steigende Aufnahme von Stärke und der Fraktion der NFC (Non Fiber Carbohydrates) verringern den Milchwahnstoff analog zu reduzierten Harn-N-Mengen. Neben der Rationszusammensetzung haben in einer Metaanalyse von Broderick et al. (1997) Leistung, Gewicht und Laktationsstadium einen signifikanten Beitrag zur Erklärung der Varianz des Milchwahnstoffes geliefert. In der Literatur werden für den Milchwahnstoff zwei Begriffe verwendet: **MUC** und **MUN**. Bei ersterem handelt es sich um den Hahnstoffgehalt und beim zweiten um den Hahnstoff-N-Gehalt. Bei der Interpretation von Milchwahnstoffwerten ist sorgfältig auf die gewählte Einheit zu achten.

Tabelle 10. Beziehungen zwischen Blut- und Milchwahnstoff und Rationsmerkmalen

Milch Blut	Regression	R ²	Bereich	Quelle
MUN mg/dl	-1.32+0.88*PUN(mg/dl) Ration ausgeglichen →MUN = 11.6	0.79	MUN: 1 – 20 mg/dl PUN: 5 – 22 mg/dl	Roseler et al 1993
	0.0206 + 0.838*BUN (mg/dl)	0.788	MUN: 4.7 – 16.4 mg/dl BUN: 7.3 – 19.2 mg/dl	DePeters et al 1992
BUN mmol/l	6.84+9.08*RNB(g/MJ UE) <5 mmol BUN = N-Defizit (NRC)	0.96	BUN : 2 – 17.2 mmol/l RNB : -0.7–0.25 g/MJ UE	Lebzien et al 2006
PUN mg/dl	3.2+0.85*MUN(mg/dl)	0.93	MUN: 12 – 28 mg/dl PUN: 12.5 – 30 mg/dl	Baker et al 1995
MUN mg/dl	4.75+0.629*BUN(mg/dl)	0.842	MUN: 3.8 – 28 mg/dl BUN: 5 – 37 mg/dl	Broderick und Clayton 1997
	-1.96+0.89*PUN(mg/dl)	0.84	MUN: 5 – 14 mg/dl PUN: 8 – 22 mg/dl	Kauffman et al 2001
	2.29+0.61*PUN+0.01*PUN ² (mg/dl)	0.99	MUN: 5 – 32 mg/dl PUN: 5 – 32 mg/dl	Burgos et al 2007
MUC mmol/l	ln(MUC) = 1.1396-0.039*NEL _{Bil} (MJ/Tag) + 0.000216*APD _{Bil} (g/Tag) + 0.0006634*OEB(g/Tag)	0.69	MUC: 0.97-9.22 mmol/l NEL _{Bil} : -66-58 MJ/Tag APD _{Bil} : -1185-938 g/Tag OEB: -466-1689 g/Tag	Schepers und Meijer 1998
MUC mg/dl	10.9+0.028*APD _{Bil} +0.039*(APDN-APDE)+0.37*Milch(kg)	0.73	MUC: 7.1-37.3 g/Tag Milch: 13-38.5 kg/Tag APD _{Bil} : -281-477 g/Tag APDN-APDE: -237-180 g	Faverdin und Vérité 1998

MUC mg/dl	$145-1.85\text{NEL}(\%) + 2.32*\text{DPI}(\%) + 0.28 * \text{RDPB}(\text{g})$ NEL, APD Bedarf, RDPB = 0 → 192 g MUC/l	0.94	MUC : 139 – 379 mg/l RDPB : -66–505 g/Tag (RDPB = OEB)	De Campeneere et al 2006
MUN mg/dl	$-32.934 + 0.386*\text{RP}/\text{NEL}(\text{g/Mcal})$	0.878	MUN: 3.8 – 28 mg/dl	Broderick und Clayton 1997
	$10.2+1.6*\text{OEB}/6.25(\text{g}/1000\text{VEM})$ Bulk samples OEB = 0 → MUN = 10.3 mg/dl	0.81	MUN: 9 – 18 mg/dl OEB : 0–0.8 g N /1000VEM	Hof et al 1997
	$-14.2+0.17*\text{RP}_{\text{Diet}}(\text{g}/\text{kgTS})$ $- 3.7+1.9*\text{RP}/\text{UE}_{\text{Diet}}(\text{g}/\text{MJ})$	0.778 0.778	MUN: 3.8 – 27 mg/dl RP : 110–260 g/kg TS UE : 9.6–12 MJ/kg TS	Nousianen et al 2004, Metaanalyse Grassilage
MUN mol/l	$-0.03+0.7*\text{BUN}(\text{mmol}/\text{l})$ $4.51+5.26*\text{RNB}(\text{g}/\text{MJ UE})$	0.91 0.87	MUN : 2 - 13 mmol/l BUN : 2 – 17.2 mmol/l RNB : -0.7 – 0.25 g/MJ UE	Lebzien et al 2006
MUN mg/dl	$26.8 - 0.159* \text{NFC}_{\text{TS}}(\%)$ Luzernesilage+Kf	0.823	NFC_{TS} : 24.5 – 42.8 % MUN : 20-26 mg/dl	Valadares Filho et al 2000
	$-7.3+0.124*\text{RP}_{\text{Ration}}(\text{g}/\text{kg TS})$ $11.7+0.16*\text{OEB}(\text{g}/\text{kg TS})$	0.74 0.75	MUN : 5 – 22 mg/dl RP : 130 -225 g/kg TS OEB : -15 – 50 g/kg	Tas 2006 Raygrasrationen
	$-9.873 + 0.132* \text{RP}_{\text{Ration}}(\text{g}/\text{kg TS})$ $5.992 + 0.181* \text{RNB}_{\text{Ration}}(\text{g}/\text{kg TS})$	0.873 0.893	MUN : 4 – 23 mg/dl RP _{TS} : 110–250 g/kgTS RNB : -9 - 90 g/kg TS	Diss Mürger 1997
	$63.7-0.0255*\text{LUZ}\%+0.858*\text{MP}_{\text{TS}}(\%) - 4.42*$ $\text{ST}_{\text{TS}}(\%) + 0.0819*\text{ST}*\text{ST}_{\text{TS}}(\%)$	RMSE 1.20	MUN : 7.4-35.6 mg/dl Luzerneanteil: 25-75 % des Raufutters MP _{TS} : 8.8-12 % (=“APD“) ST _{TS} : 22-30 %	Weiss et al 2009a
Milch-N g/Tag	$59.1+0.12*N_{\text{intake}}(\text{g}/\text{Tag})$	0.17	Milch-N: 80-130 g/Tag N _{intake} : 360 - 570 g/Tag	Castillo et al 2001

Der Milchwahnstoffgehalt wird den Herdebuchbetrieben seit längerem als Routineanalyse im Rahmen der offiziellen Milchleistungskontrolle angeboten. Nichtherdebuchbetriebe können auf Anfrage Milchproben ebenfalls untersuchen lassen. Es stehen somit recht flächendeckende Angaben auf Einzeltierbasis zur Verfügung. Für den Milchwahnstoff ergeben sich drei Anwendungsbereiche:

- 1) die Beurteilung von **Imbalancen** in der Fütterung
- 2) die Schätzung der **N-Ausscheidungen**
- 3) neu: Indikator für potenzielle **Ammoniakemissionen**

Die Anwendbarkeit des Milchwahnstoffgehaltes als Indikator hängt davon ab, wie gut dessen Variabilität einerseits Imbalancen in der Fütterung in Bezug auf Energie- und Proteinversorgung und andererseits emissionsrelevante N-Fractionen in den tierischen Ausscheidungen widerspiegelt und wie zuverlässig diese vorhergesagt werden können. In den Zuchtverbänden hat sich das 3x3 Beurteilungsschema für die Nährstoffversorgung (Abb. 22) etabliert. Der Wertebereich von 20 – 30 mg Harnstoff pro dl wird als ausgeglichener Bereich definiert. Die Mittelwerte von Populationsuntersuchungen fallen in diesen Bereich

(Bastin et al, 2009, König et al 2008, Miglior et al 2006, Mitchell et al 2005, Spiekers und Obermaier 2006, Wattiaux et al 2005). Zur Festlegung eines Optimalbereiches kann als Richtschnur die Auflösung der multiplen Regressionen auf ausgeglichene Rationen dienen (Tab 4-10). Zusammen mit der Ableitung von Richardt (2004) lässt sich der **Optimalbereich auf 17 – 26 mg Harnstoff/dl** eingrenzen. In Holland wird ein Zielwert von 20 mg/dl vorgegeben. Entstanden ist die Vorgabe aus einer Vereinbarung zwischen dem Bauernverband und der holländischen Regierung. Die Milchviehfarmen verpflichten sich zu einer Absenkung des MUC auf den Zielwert. Im Gegenzug werden sie davon verschont, in emissionsarme Stallbauten investieren zu müssen (Reijs 2007).

Erweiterte Interpretation des Milcheiweiss- und Milchharnstoffgehaltes - Rückschlüsse auf die Fütterung

(besonders empfehlenswert für Kühe mit hohen Milchleistungen)

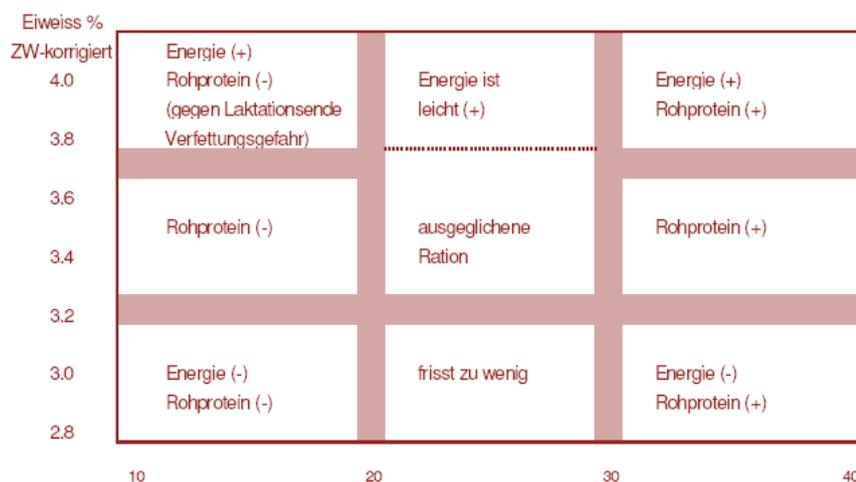


Abbildung 22. Beurteilungsschema der Fütterung anhand des Milcheiweiss- und Milchharnstoffgehaltes
(<http://homepage.braunvieh.ch> 2010)

Wie in Abbildung 15 bereits aufgezeigt, weichen publizierte Regressionsgleichungen in den daraus berechneten N-Ausscheidungen voneinander ab. Die Zuverlässigkeit der Schätzungen lässt sich mit einem multiplen Regressionsansatz verbessern. Welche Parameter den Milchharnstoffgehalt neben den bereits aufgezeigten hauptsächlich beeinflussen, wird anhand folgender Liste beleuchtet, wobei meist die dahinterliegenden Rationengestaltungen entscheidend sind:

- Laktationsstadium, Laktationsnummer, Milchleistung
- Saison: Winter-, Grünfütterung
- Jahr, Region, Höhenstufe
- Betrieb bzw. Herde

- Genetik
- Tagesschwankungen
- Analysenmethode: IR-Routineanalyse, colorimetrisch, enzymatisch

2.3.2. Laktationsstadium, Milchleistung

Eine ältere schwedische Arbeit belegt einen grundsätzlichen Unterschied im **Laktationsverlauf** des Milchwahnstoffgehaltes zwischen Winter- und Sommerabkalbungen (Abb. 23). Während im Winter die MUC-Kurve ähnlich einer Laktationskurve verläuft, ist im Sommer kein eindeutiges Muster zu erkennen. Das generelle Niveau ist höher verbunden mit grösseren Ausschlägen. Wird bei der Datenauswertung eine genauere Auflösungseinheit wie der Laktationstag (englisch DIM) gewählt, ergeben sich modifizierte Kurvenverläufe (Abb. 24).

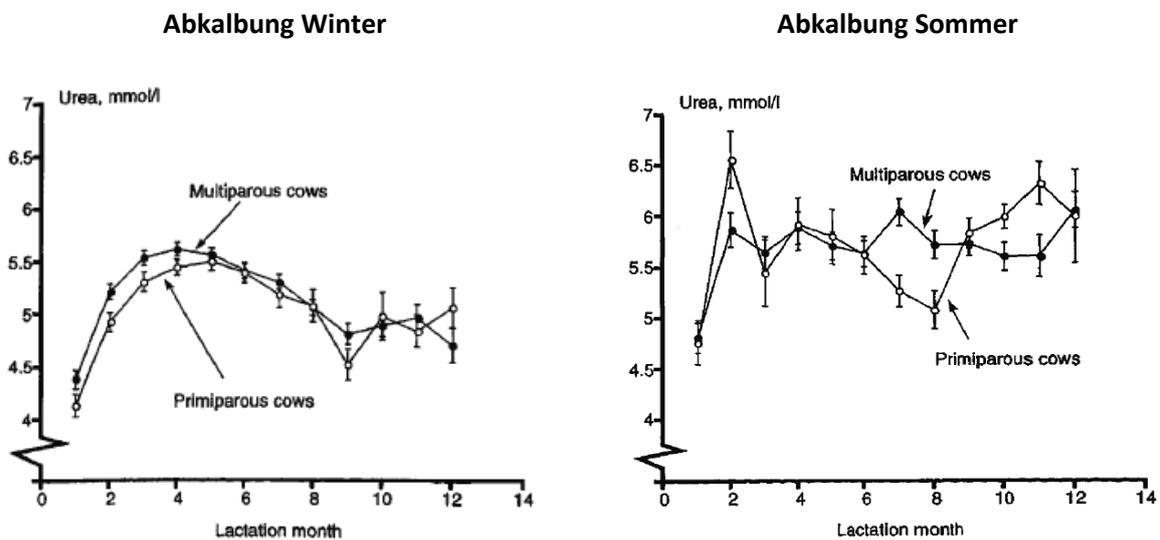


Abbildung 23 . Milchwahnstoffgehalt schwedischer Betriebe in Abhängigkeit von Laktationsstadium, Laktationsnummer und Abkalbesaison (Carlsson et al 1995).

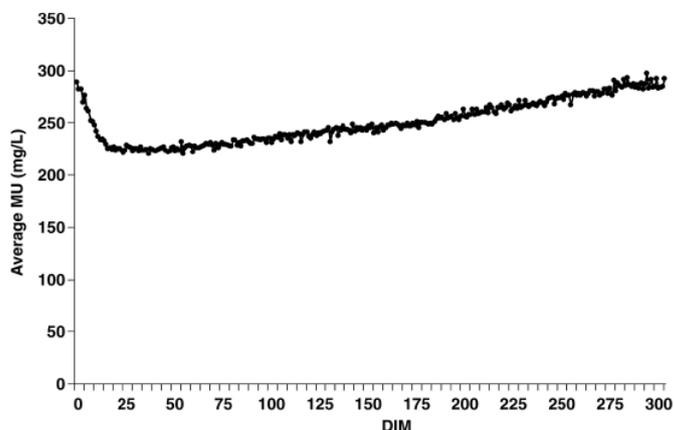


Abbildung 24. Milchwahnstoffgehalte (IR-Messung) als Tagesmittelwerte von erstlaktierenden Holstein Kühen in Belgien (Bastin et al 2009)

In der 3. - 4. Laktationswoche erreicht der MUN-Gehalt einen Tiefpunkt, um dann kontinuierlich anzusteigen. Der Laktationsbeginn ist eine Phase mit recht sprunghaften Veränderungen (Abb. 25, 26). In den Untersuchungen von Wattiaux et al (2004, 2005) wurde festgestellt, dass die Beziehung zwischen MUN und N-Verzehr bei Laktationsbeginn gering ist mit zum Teil grossen Sprüngen. Die Interpretation des Harnstoffgehaltes ist bis Woche 6 mit entsprechender Vorsicht zu handhaben, da bei Laktationsbeginn von einer negativen Energie- und N-Bilanz auszugehen ist und die Kühe sehr individuell auf diese Stoffwechselbelastung reagieren, was zu variierenden MUN-Gehalten führt. Sowohl bei primiparen wie multiparen Kühen verläuft der Harnstoffgehalt bei höherer Einsatzleistung auf einem höheren Niveau (Abb. 25).

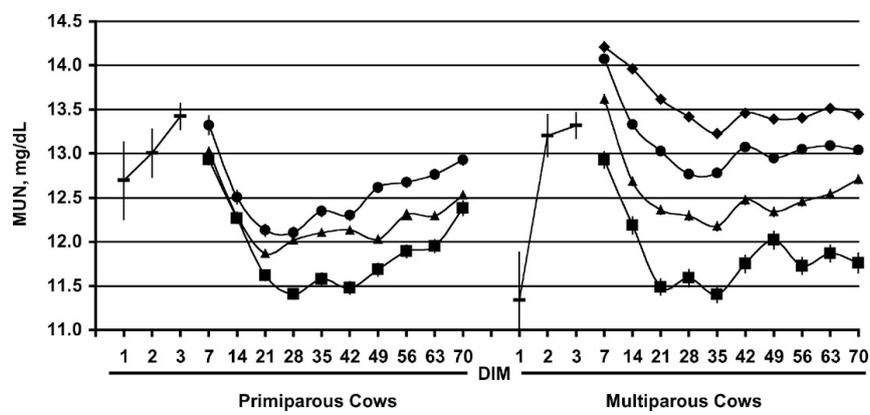


Abbildung 25. Verlauf der Milchwahnstoffgehalte bei US-Holsteinkühen bei Laktationsbeginn aufgeteilt nach Milchleistungsklassen ■ <25 kg ECM ▲ 25-35 kg ● 35-45 kg ◆ >45 kg (Wattiaux et al 2005).

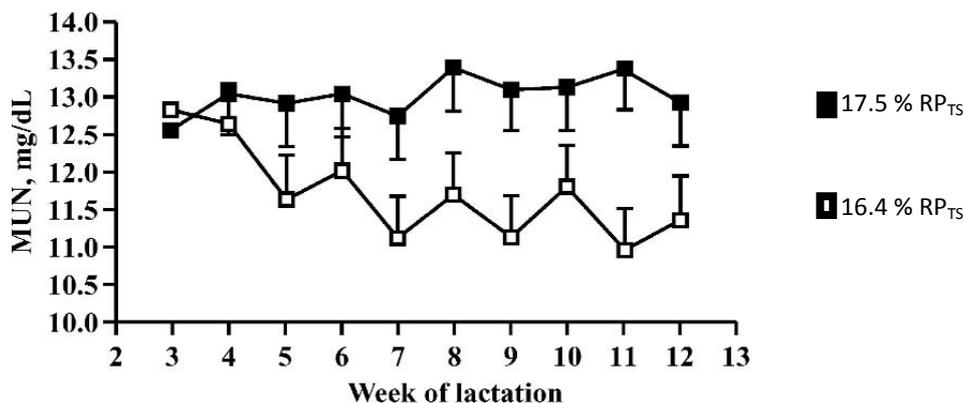


Abbildung 26. Milchwahnstoff-N von Hochleistungskühen bei empfohlenem RP-Gehalt (16.4 %) gemäss NRC und erhöhtem RP-Gehalt in Luzerne- und Maissilagerationen mit einem Krafftutteranteil von 45 % (Wattiaux und Karg 2004)

Auch bei Laktationsbeginn ist der Verlauf des MUN beeinflussbar (Abb. 26). Der empfohlene Rohproteingehalt von 16.5 % in der Gesamtration genügt gemäss den Autoren auch bei einer Milchleistung von über 40 kg/Tag, solange die Proteinqualität ausbalanciert ist.

2.3.3. Saisoneinfluss

In mehreren Arbeiten wird ein ausgeprägter Saisoneinfluss auf den Milchharnstoffgehalt nachgewiesen sowohl unter amerikanischen wie europäischen Produktionsbedingungen (Abb. 27). Dieser Effekt überlagert den Einfluss des Laktationsstadiums.

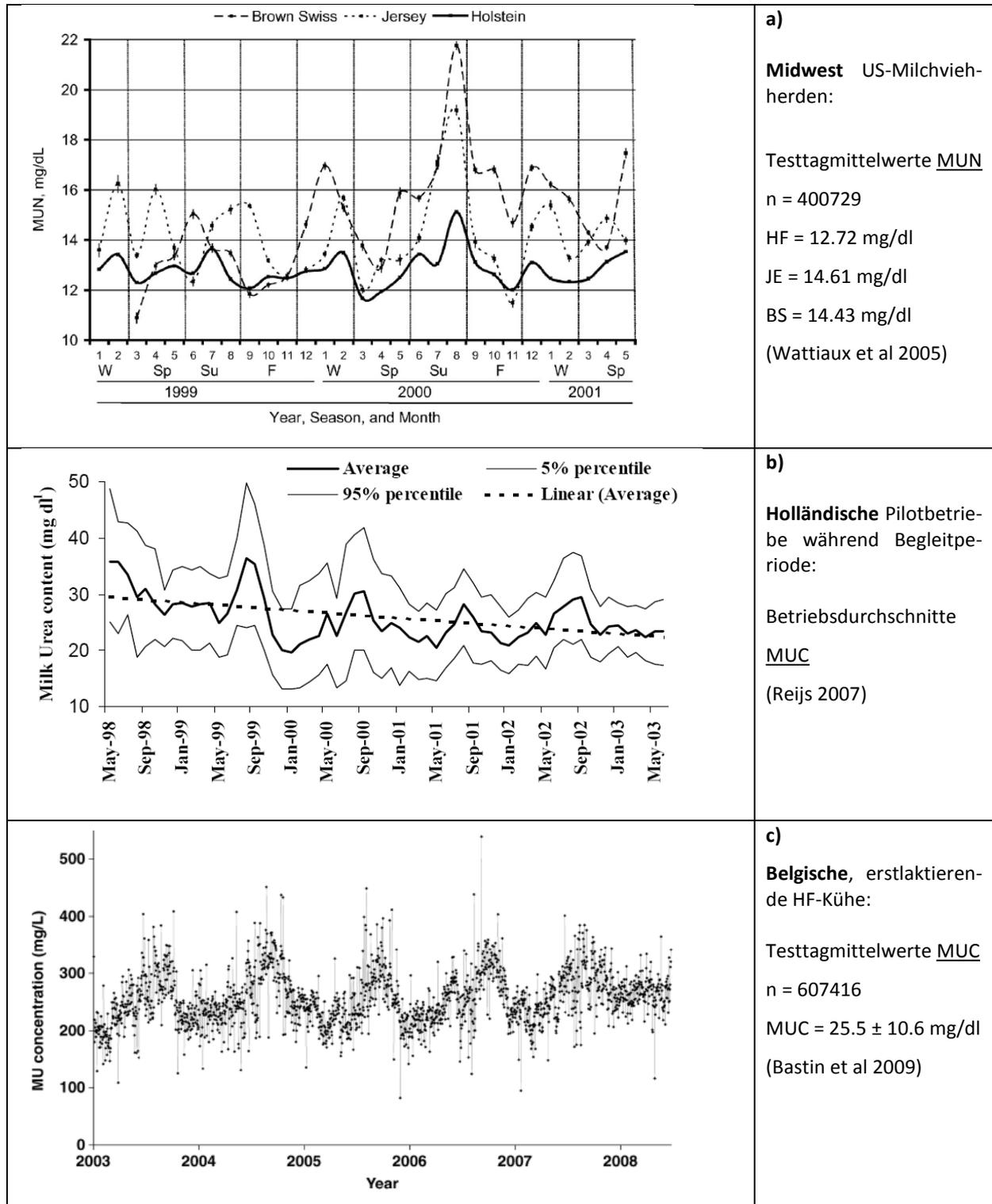


Abbildung 27. Saisonale Variation im Milchharnstoffgehalt in Nordamerika (a) und Europa (b,c)

Bei Grünfütterungsstrategie können Peaks im Mai auftreten, aber es sind vor allem die Proben aus den Spätsommer- und Herbstmonaten, die die höchsten Harnstoffwerte aufweisen. Wenn spätlaktierende Kühe ad libitum Zugang zu Grünfütterer haben, kann von einer Proteinübersversorgung und einem ruminalen N-Überfluss der Kuh ausgegangen werden. Hohe Milchwahnstoffgehalte und Harn-N-Ausscheidungen sind in diesem Fall Ende der Laktation zu erwarten, wie dies versuchsmässig gezeigt werden konnte (Abb. 28).

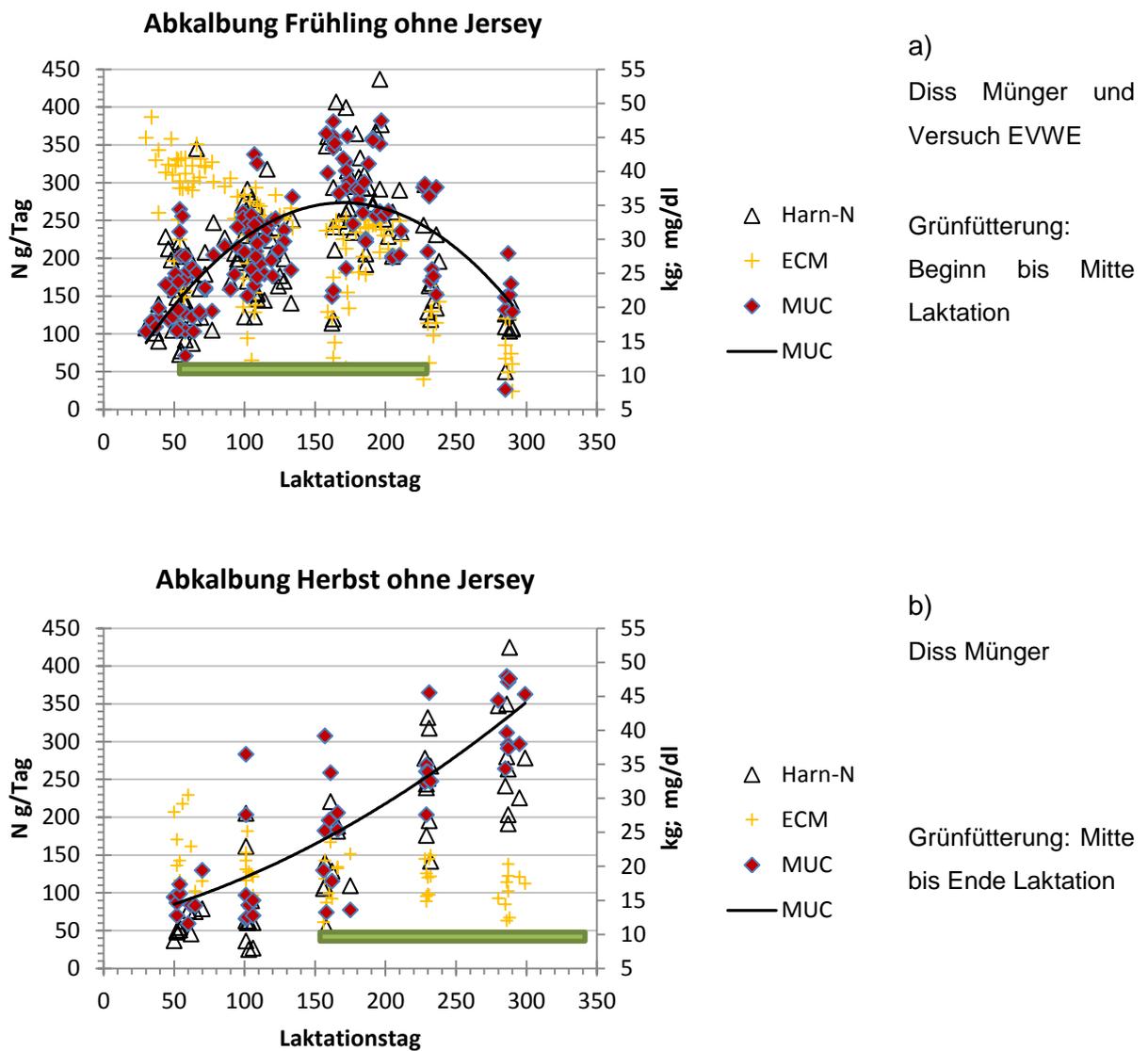


Abbildung 28. Einfluss der Abkalbesaison auf den Verlauf des Milchwahnstoffgehaltes und der Harn-N-Ausscheidung im Laktationsverlauf (Münger 1997, Versuch EVWE 2008).

Bei konzentrierter Abkalbverteilung wird sich der Saisoneffekt auf Populationsebene verstärken. Unter schweizerischen Bedingungen trifft dies am ausgeprägtesten auf die Braunviehpopulation zu (Abb. 29). Bei der Fleckvieh- und Holsteinpopulation (Abb. 30) sind von Frühling bis Herbst bei hohem Niveau grössere Ausschläge zu beobachten. Die

Verwendung des Begriffes "NPN" (Nicht Protein Stickstoff) anstelle von Milchwahnstoff beim Holsteinzuchtverband ist leider etwas irreführend.

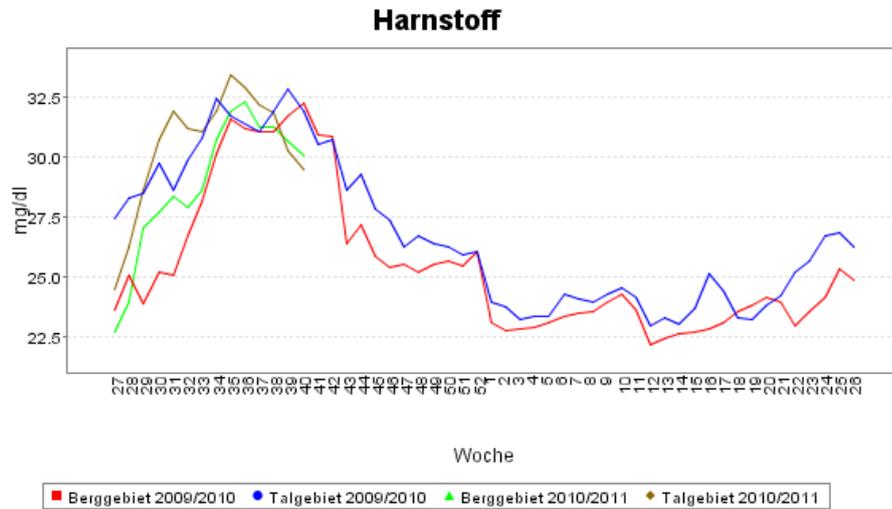
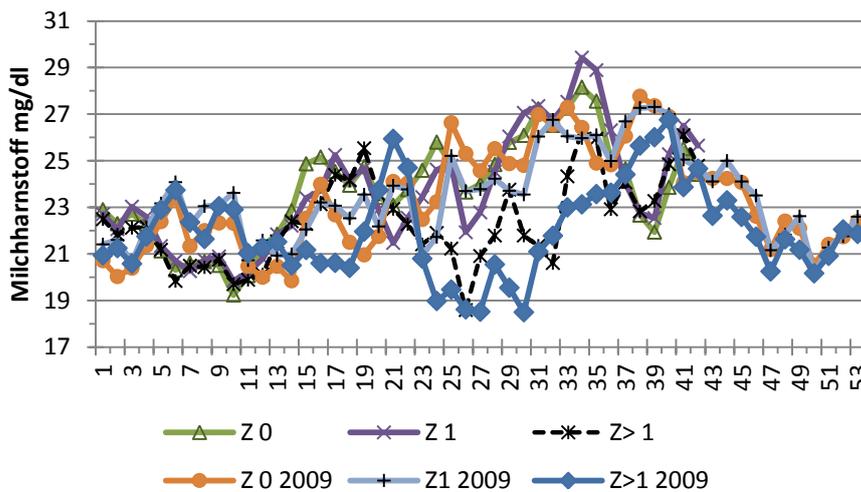


Abbildung 29: Jahresverlauf des Milchwahnstoffgehaltes bei Schweizer Braunviehkühen nach Zonen und Jahr (Auswertung Braunviehzuchtverband <http://homepage.braunvieh.ch> 2010)



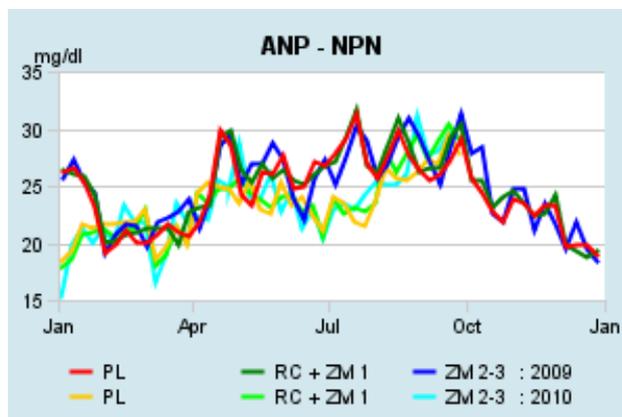
a)

www.tacheteerouge.ch

Mittel 2009:
gesamt 22.92 mg/dl

Z0: 23.33 mg/dl
Z1: 23.44 mg/dl
Z>1: 21.99 mg/dl

Z0 = Talzone



b)

www.holstein.ch

PL = „Plaine“, Talzone
ZM = Bergzone

Abbildung 30. Jahresverlauf des Milchwahnstoffgehaltes bei Schweizer Fleckvieh- (a) und Holsteinkühen (b) nach Zonen und Jahr (Auswertung www.tacheteerouge.ch und www.holstein.ch)

Die Gegenüberstellung der Milcheiweissgehalte im Jahresverlauf weist auf eine weitere Besonderheit hin: die Milcheiweissgehalte im Berggebiet liegen während der Wintermonate deutlich unter dem Niveau des Talgebietes (Abb. 31), was als Indiz einer knappen Energieversorgung zu werten ist. Dieses Phänomen ist bei allen Zuchtverbänden zu beobachten.

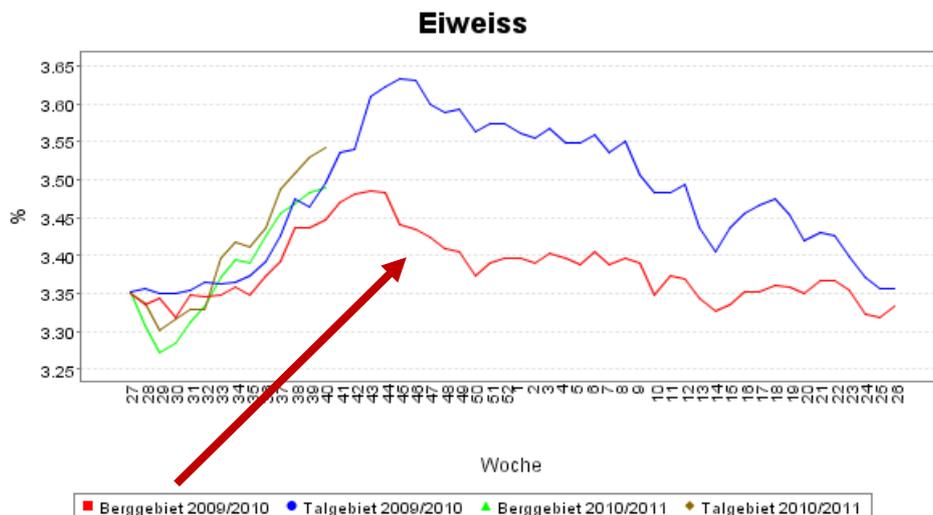


Abbildung 31. Jahresverlauf der Milcheiweissgehalt bei Schweizer Braunviehkühen nach Zonen (Auswertung Braunviehzuchtverband <http://homepage.braunvieh.ch> 2010).

2.3.4. Zone, Betrieb, Herde, Genetik

Neben der Saisonalität von hohen Harnstoffgehalten ist ein Einfluss der Höhenstufe auf den Kurvenverlauf der Harnstoffwerte erkennbar. Bei Fleckvieh- und Braunviehkühen liegen die Sommergehalte in den **Bergzonen** auf einem deutlich tieferen Niveau als im Talgebiet, was vermutlich mit tieferen Proteingehalten im Bergfutter und mit der teilweisen Alpung zusammenhängt. Dies führt in Braunviehzuchtbetrieben zu insgesamt tieferen Betriebsdurchschnitten mit zunehmender Höhenlage (Abb. 32), wobei die Länge der Grünfütterungsperiode mitzuberücksichtigen ist. Der **Betriebsdurchschnitt** von Talbetrieben beträgt 26.14 mg/dl gegenüber 23.15 mg/ dl in Betrieben der Bergzone 3/4. Sowohl der Mittelwert wie die Variationsbreite der Betriebsdurchschnitte decken sich mit den Ergebnissen einer Untersuchung von Tankmilchproben in Bayern (Abb. 33). Würde ein Zielwert von 20 mg Milchharnstoff/dl unterstellt, dann hätten **86 % der Braunviehzuchtbetriebe** ein **Reduktionspotenzial**. Andererseits sind Betriebsdurchschnitte von unter 15 mg/dl nicht anzustreben. Davon sind 47 Betriebe betroffen (0.5 %).

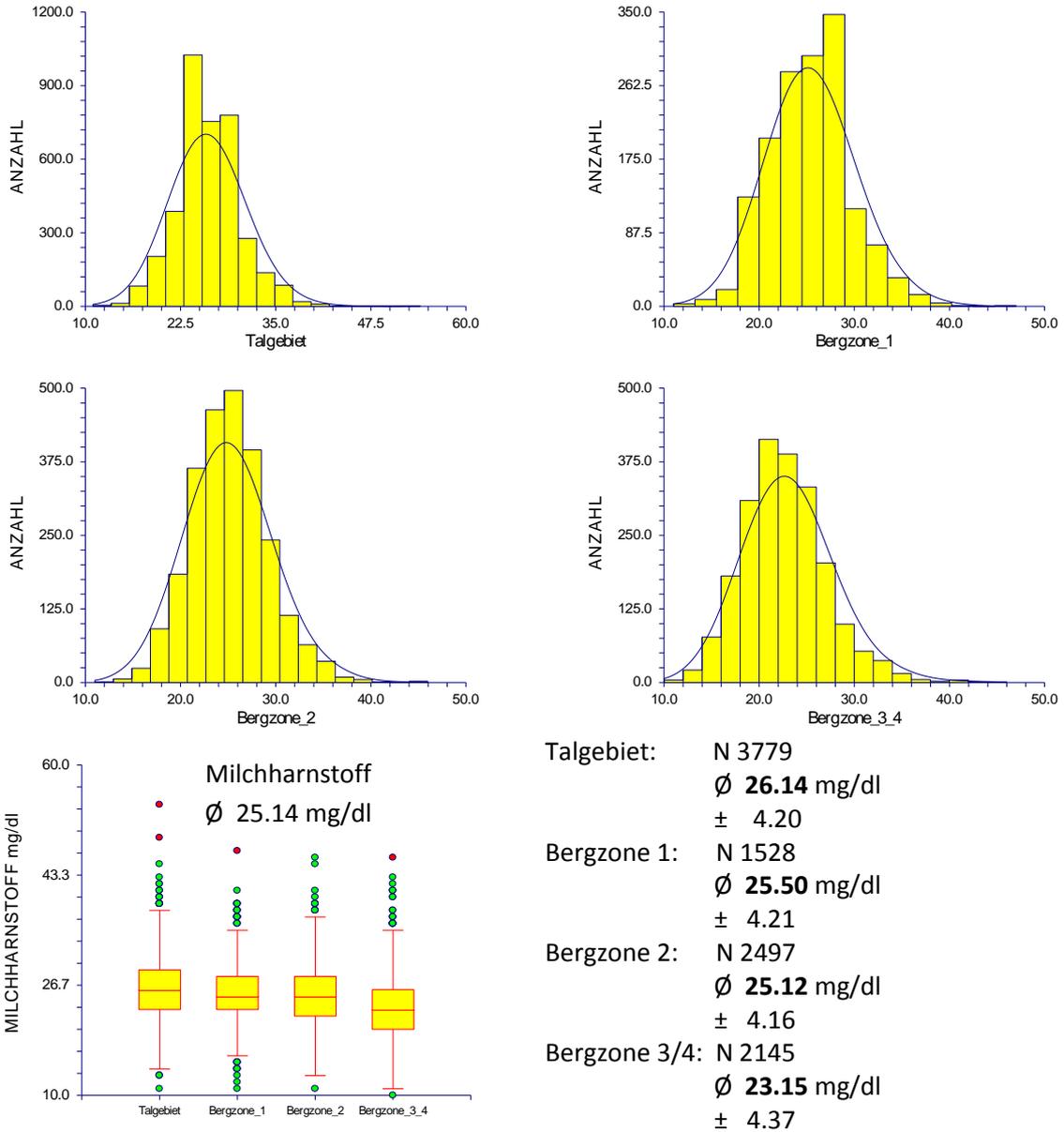
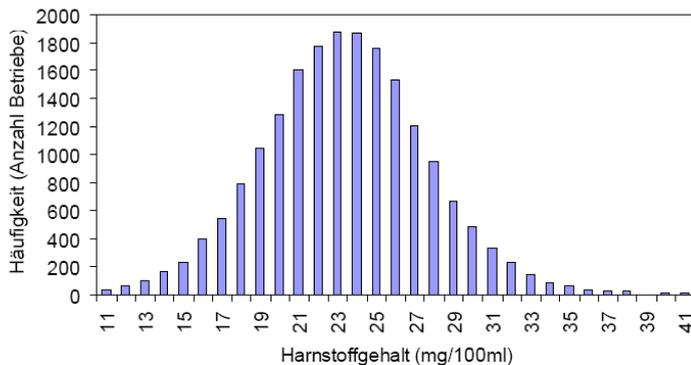


Abbildung 32. Häufigkeitsverteilung der betrieblichen Milchharnstoffgehalte von Braunviehzuchtbetrieben des Kontrolljahres 2009/2010. Basis : abgeschlossene Standardlaktationen pro Betrieb (Moll J., Braunviehzuchtverband 2010).



Quelle: LKV Bayern

Abbildung 33. Häufigkeit der betrieblichen Milchharnstoffgehalte des Milchkontrolljahres 2005/2006 von Tankmilchproben in Bayern (Speikers und Obermaier 2007)

Die Variationsbreite in den Betriebsdurchschnitten verdeutlicht den grossen **Herdeneinfluss** auf den Milchharnstoffgehalt. Dahinter stehen unterschiedliche Fütterungs- und Managementstrategien. Das **Leistungsniveau** der Herde hat einen Einfluss, der aber nicht zwingend zu hohen Milchharnstoffgehalten führt. Hochleistungsherden (> 10000 kg Milch) im Vergleich zu Herden mit tiefem Produktionsniveau (<7200 kg Milch) - nach amerikanischer Interpretation - können MUN-Gehalte aufweisen, die im Variationsbereich der tieferen Leistungsklasse liegen und umgekehrt (Abb. 34).

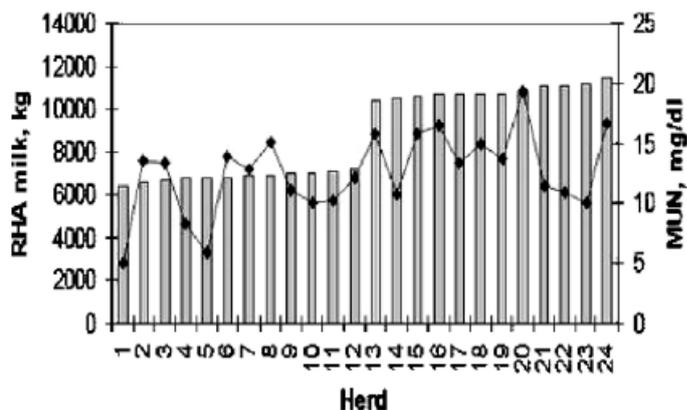


Abbildung 34. Einfluss der Herdenleistung auf den mittleren Milchharnstoff-N-Gehalt von US-Holsteinherden (Rajala-Schultz und Saville 2003).

In mehreren neueren Arbeiten wurden genetische Parameter zu Milchharnstoff, Milchleistung und Fruchtbarkeitsmerkmalen untersucht (Mitchell et al 2005, König et al 2008, Stoop et al 2007). Zusammengefasst besteht eine genetische Korrelation zwischen Milchharnstoff, Zellzahl und Milchleistung, aber die Beziehungen zu Fruchtbarkeitsmerkmalen sind schwach. Die **Heritabilität** des Milchharnstoffgehaltes bewegt sich zwischen **0.09 und 0.22**. Der 'Herdentesttag' erklärte 58 % der Varianz im Milchharnstoffgehalt, was nochmals den grossen Herdeneinfluss unterstreicht. Ein genetischer Einfluss ist trotzdem gegeben und Rasseneffekte sind nicht auszuschliessen. Es fällt auf, dass der Milchharnstoffgehalt von Braunviehkühen unter schweizerischen (Abb. 29, 30, 32) wie amerikanischen Verhältnissen (Abb. 27) im Mittel über der Fleckvieh- bzw. der Holsteinpopulation liegt. Den genauen Ursachen müsste nachgegangen werden.

2.3.5. Analytik

Die Routineanalysen der Milchproben aus Herdebuchbetrieben werden mittels Infrarotspektroskopie (IR) durchgeführt, so auch der Milchharnstoff. Im Vergleich zur nasschemischen (enzymatischen) **Analyse** sind Unterschiede belegt, die sogar die berechnete Heritabilität beeinflussen (Mitchell et al 2005). In der Gegenüberstellung von Broderick (2003) beträgt das Bestimmtheitsmass der Regression zwischen enzymatischer und IR Milchharnstoffbestimmung gerade mal 0.198 (Abb. 36), was eine schlechte Übereinstimmung mit erheblichen Einzeltierabweichungen zur Regressionsgeraden aufzeigt.

Das Bestimmtheitsmass der Beziehung zwischen enzymatischer und colorimetrischer Methode ist mit 0.724 deutlich besser.

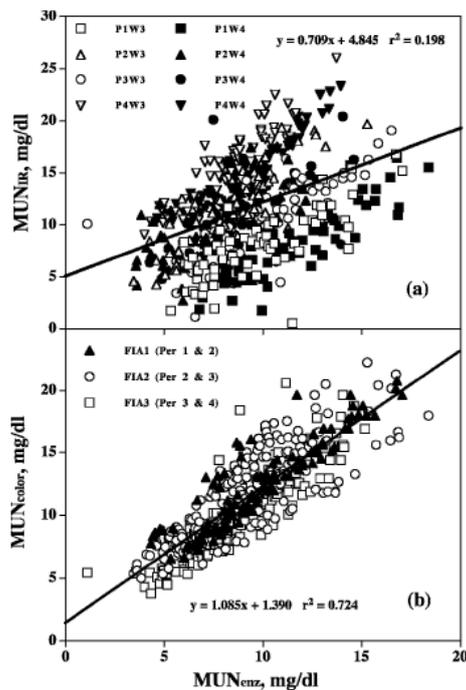
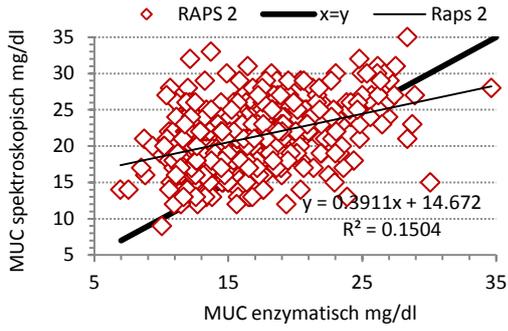
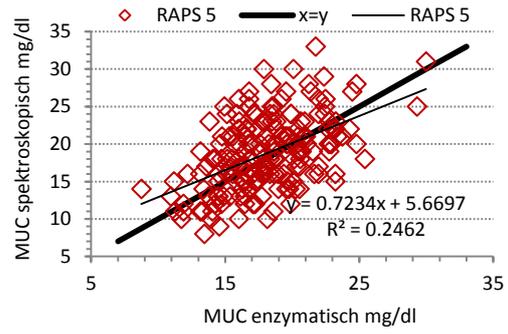


Abbildung 35. Vergleich der enzymatischen mit der colorimetrischen (b) und der IR-Routineanalyse (a) des Milchwahnhstoffgehaltes (Broderick 2003)

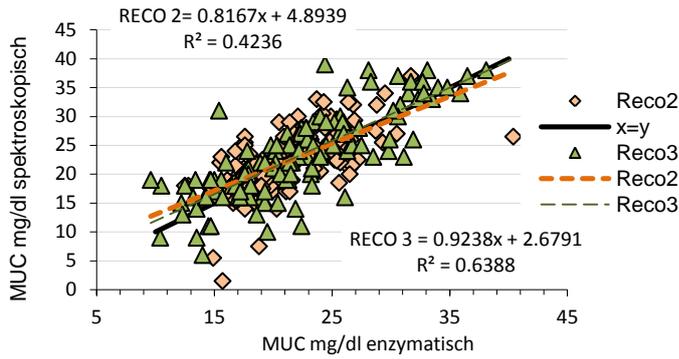
Analog schlechte Übereinstimmungen sind auch in Schweizer Datensätzen aufgetreten (Abb. 36). Ausgewertete Versuche von Agroscope ALP zeigen immerhin eine sukzessive Verbesserung von anfänglich praktisch nicht korrelierten Werten (2000) bis zu R^2 von >0.75 (2010). Die systematische Unterschätzung von 2008 wurde in den folgenden Jahren offenbar korrigiert. An der Kalibrierungsqualität muss insgesamt noch gearbeitet werden. Die Aussagekraft und Interpretation von Einzeltierdaten werden sehr problematisch, wenn die Übereinstimmung nicht verbessert wird. Abzuklären wäre, wie gut Herdendurchschnitte (berechnet mit IR-Analyse) mit enzymatisch analysierten Tankmilchproben korrelieren. Die Brauchbarkeit des Milchwahnhstoffgehaltes als Indikator in Ressourcenprogrammen ist an eine verlässliche Analytik gebunden. **Die IR-Routineanalyse weist Qualitätsmängel auf.** Ob die enzymatische Methode im grossen Stil durchführbar und zahlbar ist, braucht weitere Abklärungen. Andernfalls müssten alternative Analysemethoden entwickelt werden.



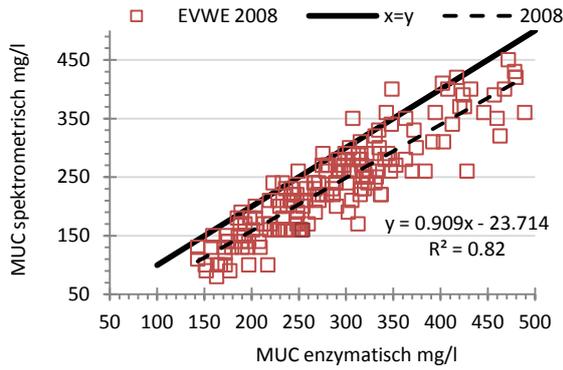
a) Versuch RAPS 2 2000



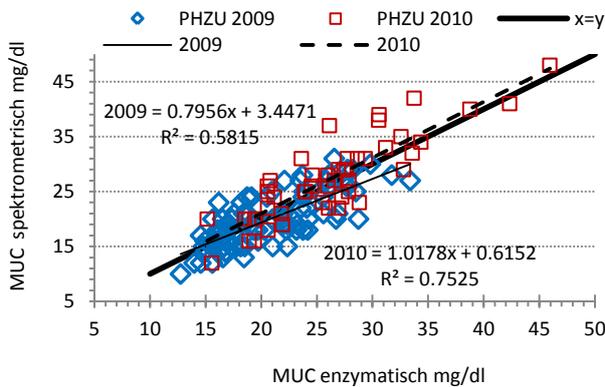
b) Versuch RAPS 5 2002



c) Versuch RECO 2 und RECO 3 2007



d) Versuch EVWE 2008

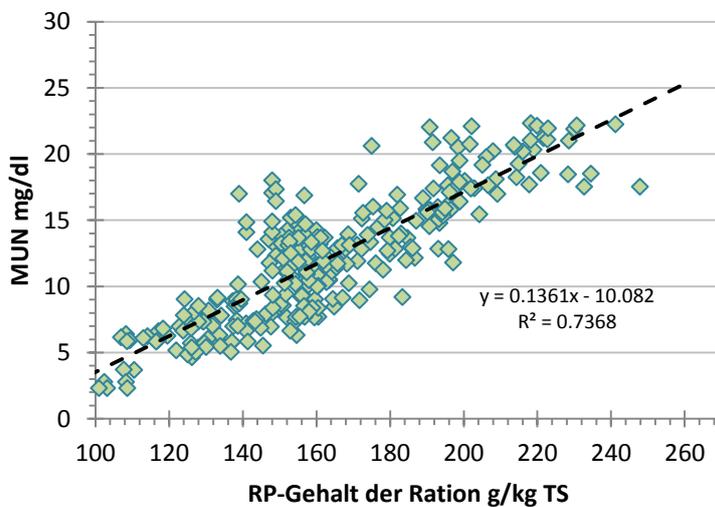


e) Versuch PHZU 1 und PHZU 2 2009+2010

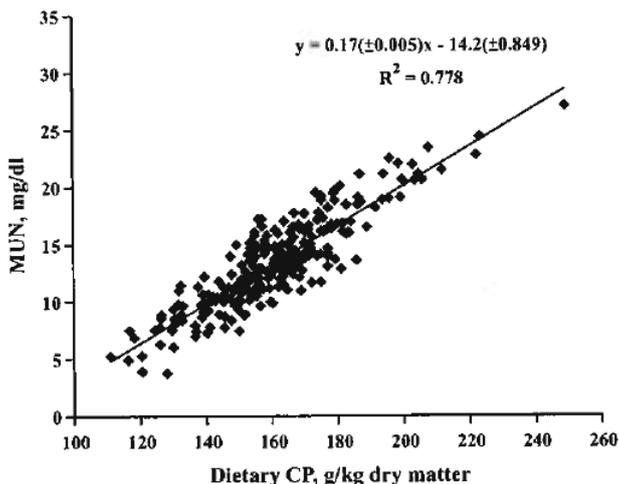
Abbildung 36. Vergleich der enzymatischen mit der spektroskopischen Routineanalyse (IR) des Milcharnstoffes in Versuchen von Agroscope ALP von 2000 (a) bis 2010 (e).

2.3.6. RP-Gehalt, N-Aufnahme, NEL-Bilanz, APD-Bilanz, RNB_{CH}

Genetische und analytische Ursachen ausgeschlossen, sind die wichtigsten **Einflussfaktoren** des Milchwahnstoffgehaltes letztlich **physiologischer Natur** und werden durch den Nahrstoffbedarf und das qualitative und quantitative Nahrstoffangebot bestimmt. Einige Zusammenhänge und eingangs dieses Kapitels zitierte Arbeiten (Tab. 10) werden noch genauer unter die Lupe genommen. In der Metaanalyse von Nousianen et al (2004) hat sich der **RP-Gehalt** der Ration als bester Einzelparameter zur Schätzung des Milchwahnstoffes (MUN) erwiesen (Abb. 37b). Im direkten Vergleich zur Auswertung Schweizer Datensätze (Abb. 37a) unterscheidet sich das Steigungsmass, das bei Nousianen grösser ist. Trotz hoher Bestimmtheitsmasse ist aber in beiden Datensätzen eine erhebliche **Reststreuung** ersichtlich.



a)
Schweizer Datensätze:
Dissertationen und
Milchviehversuche ALP,
mehrheitlich Einzelkuhdaten



b)
Nousianen et al 2004:
Metaanalyse von finnischen
und schwedischen Fütter-
ungsversuchen mit Gras-
silagerationen

Abbildung 37. Milchwahnstoffgehalt in Abhängigkeit des Rohproteingehaltes der Ration

Die Beziehung zwischen Milchwahnstoff und RP-Gehalt der Ration besteht grundsätzlich, kann aber auf Einzeltierbasis und unter speziellen Versuchsbedingungen "verloren" gehen. In den mehrjährigen Versuchen von Tas (2006; Abb. 38) mit Raigrasrationen waren die

Regressionslinien jahresabhängig. Die Schätzung der Harn-N-Ausscheidung anhand des Milchharnstoffgehaltes war für das Erntejahr 2001 unbrauchbar (nicht signifikante Beziehung, siehe Tab. 7). Hingegen war die Harn-N-Menge des gleichen Versuchsdurchganges eng mit der N-Aufnahme korreliert (Abb. 39).

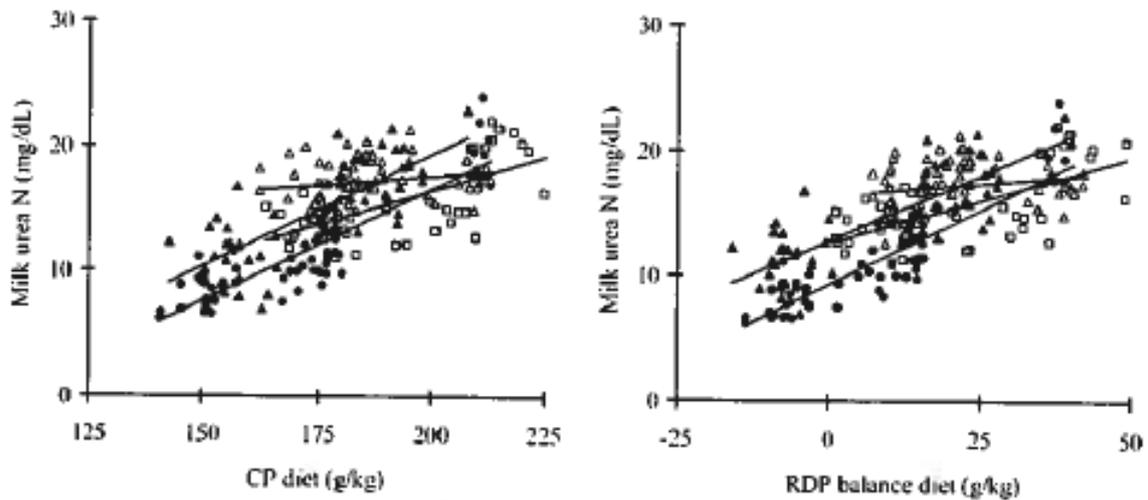


Abbildung 38. Einfluss des Erntejahres, des RP-Gehaltes und der ruminalen Proteinbilanz von Raigrasrationen auf den Milchharnstoffgehalt (Tas B. 2006).

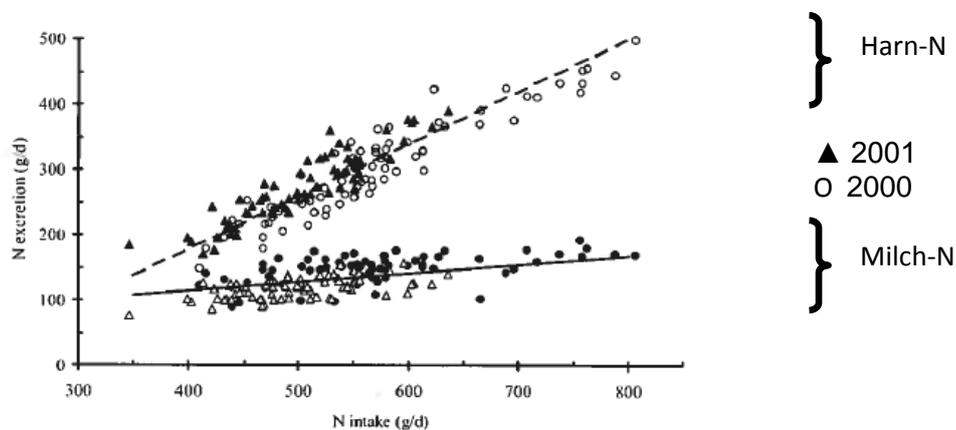


Abbildung 39. N-Verwertung von Milchkühen bei Stallfütterung von Raigras und 2-4 kg Kraftfutter aus Getreide und Zuckerrübenschnitzel (Tas 2006)

Jahresabhängige Verschiebungen im Verhältnis von Zucker, Protein und NDF im Grünfütter können zu Fehlschätzungen der N-Ausscheidungen führen, wenn einzig der Milchharnstoffgehalt als Schätzparameter beigezogen wird. Schepers und Meijer (1998) haben in einem **multivariaten Ansatz** mit der **Energiebilanz**, **APD-Bilanz** und der **ruminalen Proteinbilanz** 69 % der Milchharnstoffvarianz erklären können. Wie in Abbildung 40 dargestellt, sind die Energiebilanz (Beitrag der Gluconeogenese aus AA) und APD-Bilanz (Beitrag einer Ueberschusssituation) signifikante und lineare Einflussfaktoren, aber im

Verhältnis zur ruminalen Bilanz fallen die Effekte kleiner aus. Der Einfluss der ruminalen Bilanz ist exponentieller Natur.

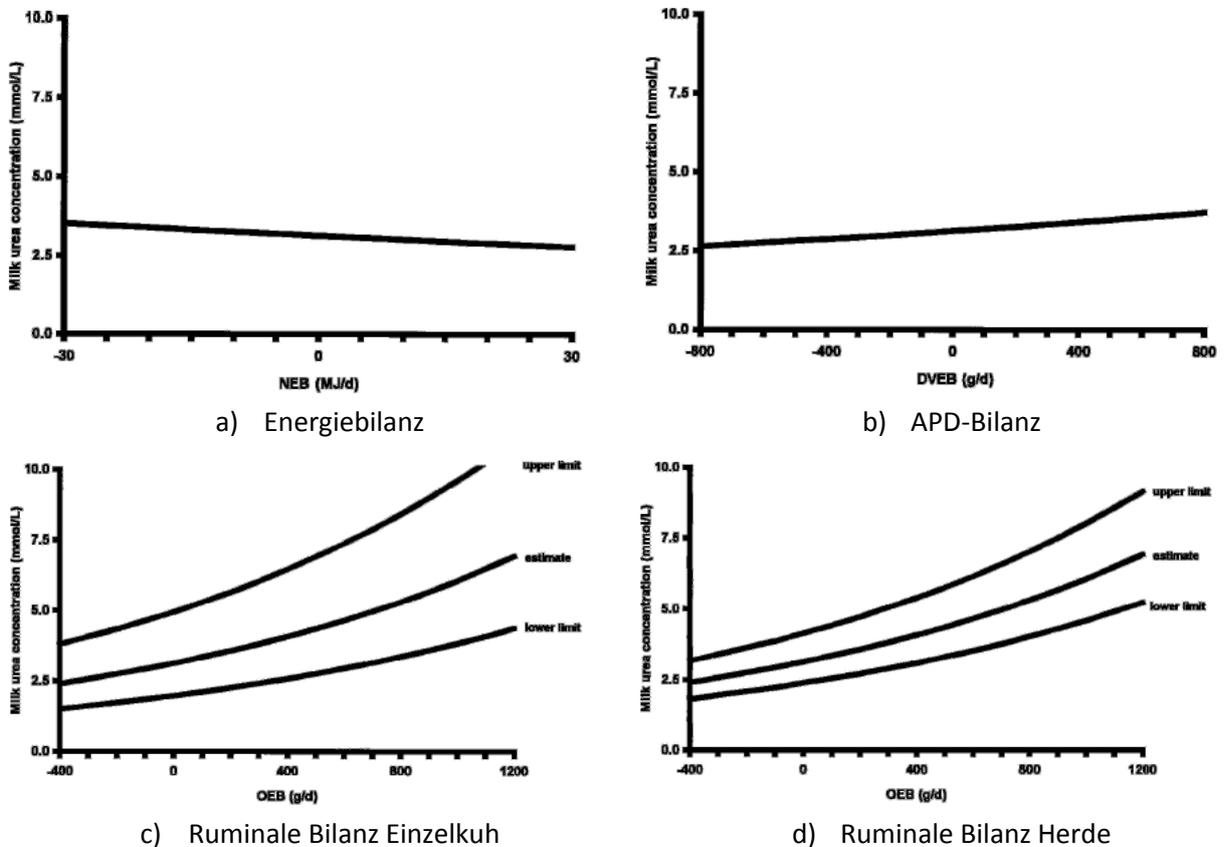


Abbildung 40. Einfluss der Energiebilanz (a), der APD-Bilanz (b), der ruminalen Proteinbilanz der Einzelkuh mit Vertrauensintervall (c) bzw. Herde (d) auf den Milchharnstoff in mmol/l (Schepers und Meijer 1998)

Die Schätzgenauigkeit des Milchharnstoffgehaltes lässt sich anhand der Berechnung der 95 % Konfidenzintervalle beurteilen. Aufgrund der hohen **tierindividuellen Variation** ist die Interpretation des Milchharnstoffgehaltes einer Einzelkuh mit einem grossen Schätzfehler behaftet (Abb. 40 c). Die Zuverlässigkeit der Beurteilung nimmt bei Tiergruppen zu. Gemäss Schepers und Meijer (1998) können ab 10 Kühen pro Gruppe (bei ähnlichem Laktationsstadium) aus dem Milchharnstoffgehalt Rückschlüsse auf die Fütterungssituation gezogen werden. Die Gründe für die hohe, nicht erklärbare Reststreuung auf Einzeltierbasis sind mit **metabolischen Variabilitäten** erklärbar, denen in den Futterbewertungssystemen nicht Rechnung getragen wird. Einzeltiere reagieren unterschiedlich auf Imbalancen auf allen metabolischen Stufen, was sich in variablem Ausmasse im Körperabbau und -aufbau, in der N-Rezyklierung und der renalen Clearance zeigt. In Bewertungssystemen wird mit konstanten mikrobiellen Syntheseraten, Verdaulichkeitskoeffizienten und partiellen Wirkungsgraden gerechnet, die aber einer biologischen Streuung unterliegen. Das heisst, die

Schätzung der N-Ausscheidungen aus dem Milchharnstoff kann im Einzelfall zu grösseren Schätzfehlern führen.

Der Milchharnstoff reagiert rasch auf veränderte Fütterung, Futtergrundlage und Nährstoffversorgung. Provozierte, kurzfristige Energiedefizite führen zu erhöhten und Proteindefizite zu tiefen Milchharnstoffgehalten (Kreuzer et al 1985; Morel 2009). Gerade während der Weidesaison kann dies zu **sprunghaften Verläufen** führen (Abb. 41, 42).

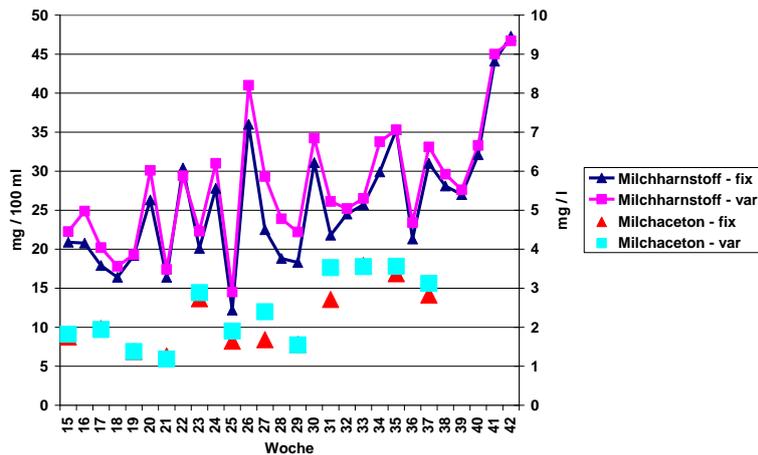
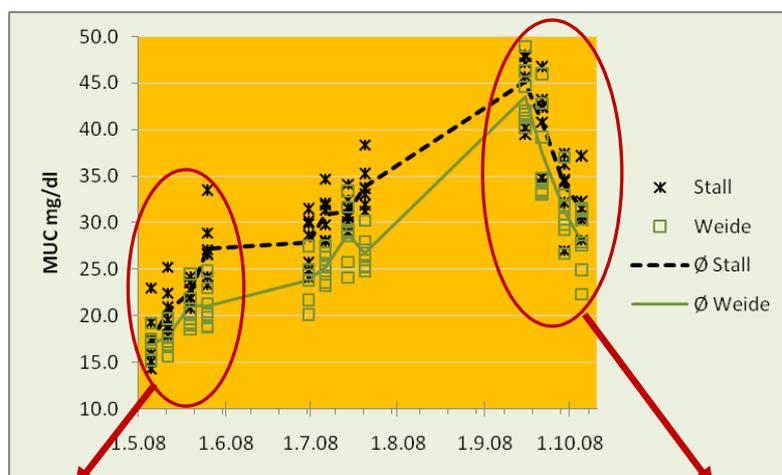


Abbildung 41. Einfluss von pauschaler oder leistungsangepasster Ergänzungs fütterung auf Milchharnstoff und Milchaceton bei Milchkühen auf Vollweide (Münger 2009)



□ MUC ◆ APDE Bil ▲ APDN Bil

□ MUC ◆ APDE Bil ▲ APDN Bil

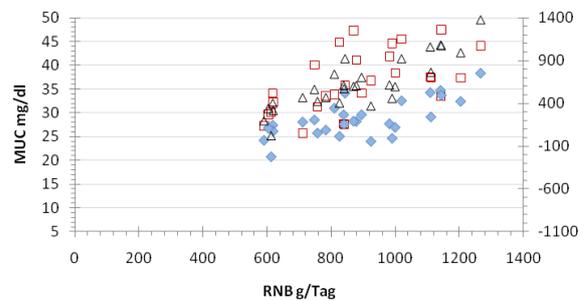
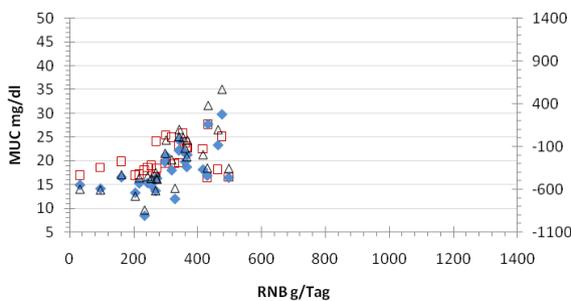


Abbildung 42. Milchharnstoffgehalte im Verlaufe der Grünfütterungsperiode bei Vollweide oder Stallfütterung von Hochleistungskühen mit Frühlingsabkalbung (Daten aus Versuch EVWE, Agroscope ALP 2008)

Dahinter stehen Variationen bezüglich Grünfütterzusammensetzung und -angebot, in der Futteraufnahme, Witterungseinflüsse und dem Ausmass der Ergänzungsfütterung, die im Verlaufe der Laktation abnimmt. Aus Abbildung 42 ist ersichtlich, wie verschiedene Einflussfaktoren sich überlagern. Im Frühling beträgt der durchschnittliche Milchharnstoffgehalt beider Kuhgruppen 20.5 mg/dl, was als optimale Fütterung interpretiert werden könnte. Bei genauerer Datenanalyse liegt bei diesen hochleistenden Kühen wegen ungenügendem Futtermittelverzehr ein Energie- und APD-Defizit vor bei gleichzeitigem ruminalem N-Überschuss. Im Herbst wirken sich Proteinübersversorgung und hohe ruminale Proteinbilanz kumulativ auf den Milchharnstoffgehalt aus. Der rückläufige Trend ganz am Ende der Weidesaison ist auf erhöhte Zuckergehalte im Grünfütter zurückzuführen. Einen interessanten Befund hat der Versuch noch gezeigt: der Milchharnstoffgehalt der Vollweidegruppe liegt systematisch unter der Stallfütterungsgruppe, die die gleiche Grasqualität von der identischen Parzelle erhielt. Es gibt Belege, dass Weidegras im Tagesverlauf Zucker einlagert (Delagarde et al 2000, Taweel et al 2004), der im am Morgen geschnittenen Gras nicht vorhanden ist. Dieser Unterschied wirkt sich auf die Verdauungsphysiologie und den Harnstoff-Turnover aus.

Folgendes Fazit lässt sich ziehen:

Das grösste Reduktionspotenzial von Harn-N-Ausscheidungen ist während der Grünfütterung gegeben. Geeignete Fütterungsmassnahmen stehen aber teilweise im Widerspruch zur Strategie einer betont Grasland basierten Milchviehfütterung (siehe Kap. 2.4)

Hohe Milchharnstoffgehalte (>30 mg/dl) sowohl auf Ebene Einzeltier wie Herde sind immer ein starkes Indiz für hohe metabolische N-Verluste, hohe Harn-N-Ausscheidung und tiefe N-Effizienz. Welche Harnstoff-Poolquelle im Einzelfall am meisten dazu beiträgt, ist nur über eine vertiefte Situationsanalyse eruierbar. „Normale“ Milchharnstoffgehalte sind noch kein 100%-iger Beweis für ausgeglichene Rationen und bedarfsdeckende Fütterung. Gehalte unter 15 mg/dl zeigen ruminale und leistungsbezogene Proteindefizite an.

2.3.7. Milchharnstoff und Ammoniakemissionen

Der direkte Zusammenhang zwischen Rationsmerkmalen, Güllezusammensetzung, Ammoniakemissionen und dem Milchharnstoff ist in mehreren Arbeiten sowohl unter praxisnahen Bedingungen (van Duinkerken et al 2005; Schrade 2009; van Duinkerken et al 2011) wie im Labormaßstab (Külling 2000; Frank et al 2002; Misselbrook et al 2005; Powell et al 2008; van der Stelt et al 2008; Weiss et al 2009a,b; Burgos et al 2010) belegt. Die NH₃-Messungen im Labormaßstab haben den Vorteil, dass die Fütterungseinflüsse und die gesammelten Exkrememente gut kontrollierbar sind. Hingegen können die gemessenen NH₃-

Emissionen (Verflüchtigung) nur qualitativ, aber nicht quantitativ auf Stallsituationen übertragen werden. In den Experimenten von van Duinkerken et al (2005, 2011) wurde sowohl die Fütterung kontrolliert wie NH_3 im Stall mit Tracergastechnik gemessen, was die Übertragbarkeit der Ergebnisse und die quantitative Interpretierbarkeit ermöglicht. Als Fortführung der Versuche bei reiner Stallfütterung (Abb. 4) wurden die Verhältnisse bei Teilweide (8.5 h Tagesweide) untersucht (Abb. 43, 44). Über eine gezielte Variation der N-Düngung der Weide, des Nutzungsstadiums und der Ergänzungsfütterung wurden 3 Milchharnstoffniveaus der Tankmilch, 15, 35 und 55 mg/dl, angestrebt und im 3-Wochenrhythmus gewechselt. Die Ergänzungsfütterung im Stall bestand aus Mais- und/oder Grassilage und Kraftfutter. Der RP-Gehalt im Weidegras variierte zwischen 21 % und 30 %. Die dabei realisierten Milchharnstoffgehalte sind in Abbildung 43 dargestellt.

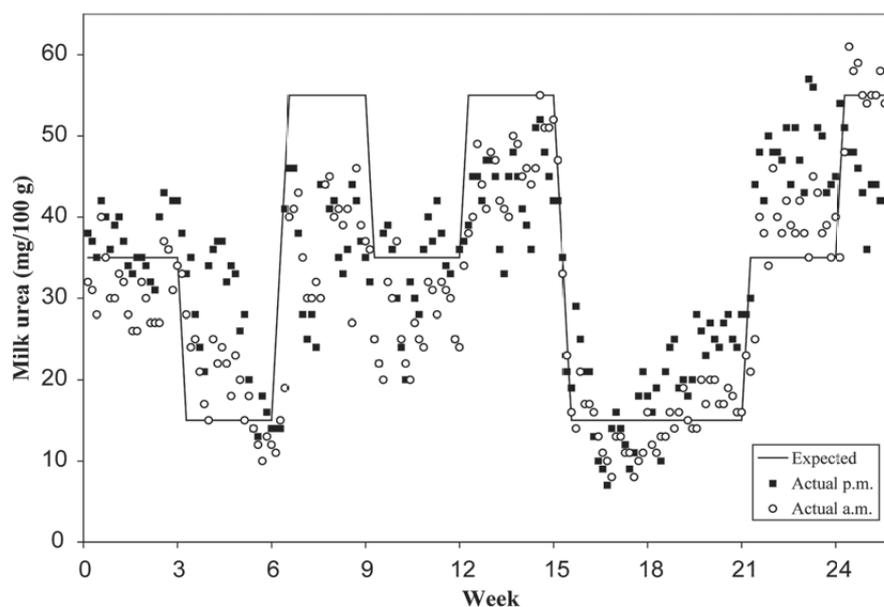


Abbildung 43. Verlauf der gemessenen und erwarteten Milchharnstoffgehalte in der Morgen- und Abendmilch bei Teilweide und Stallfütterung mit Mais- und/oder Grassilage (van Duinkerken et al 2011).

Über die gesamte Versuchsdauer gesehen, betrug der durchschnittliche Milchharnstoffgehalt der Tankmilch 31.4 ± 11.4 mg/dl, mit $\bar{\emptyset}$ 30.3 mg/dl in der **Morgenmilch** und $\bar{\emptyset}$ 33.6 mg/dl in der **Abendmilch**. Ist die Fütterung in den Tages- und Nachtstunden nicht identisch, dann unterscheiden sich auch die Morgen- und Abendmilchproben. Die N_{gesamt} - und Harnstoff-N-Konzentration im Harn stieg parallel zu den Milchharnstoffgehalten an. Der Harnstoff-N-Anteil am Gesamt-N im Harn erhöhte sich von rund 55 % bei 15 mg/dl MUC auf 82 % bei 55 mg/dl MUC. Diese Verschiebung hat auch die Zusammensetzung der Vollgülle beeinflusst. Mit einem dynamischen Regressionsmodell wurde die **NH_3 -Emission** modelliert. Die Aussentemperatur, der Tankmilchharnstoff und ein Güllemischparameter erklärten 66 % der Varianz der NH_3 -Emissionen. Das Emissionsmodell schätzt, dass mit der Erhöhung der Aussentemperatur um 1°C die NH_3 -Emissionen um 2.6 % zunehmen. Der Anstieg der NH_3 -

Emissionen mit steigendem Milchharnstoff ist nicht linear, sondern exponentiell (Abb. 44). Bei einem MUC-Niveau von 20 mg/dl verändern sich die NH_3 -Emissionen um **2.5 % pro 1 mg MUC** zu, während bei einem MUC-Niveau von 30 mg/dl, die Veränderung **3.5 % pro 1 mg MUC** beträgt. Gülle mischen und umpumpen erhöhte die NH_3 -Emission am Ausführungstag um 11 %. Gemäss Abbildung 44 variieren die **NH_3 -Stallemissionen** bei Teilweide und Boxenlaufstall auf Spaltenboden zwischen 2.5 (Minimum) und 22.5 kg/Kuh (Maximum) über 175 Tage, was **14.3 und 128.6 g/Kuh und Tag** ergibt. Im Vergleich zur reinen Stallfütterung (siehe Abb. 4) wird im Teilweidesystem vor allem bei hohen Milchharnstoffgehalten mehr NH_3 freigesetzt, wobei die Schätzgenauigkeit abnimmt. Die Autoren kommen zum Schluss, dass sich der Tankmilchharnstoff als Indikator der NH_3 -Emissionen und Managementhilfe eignet.

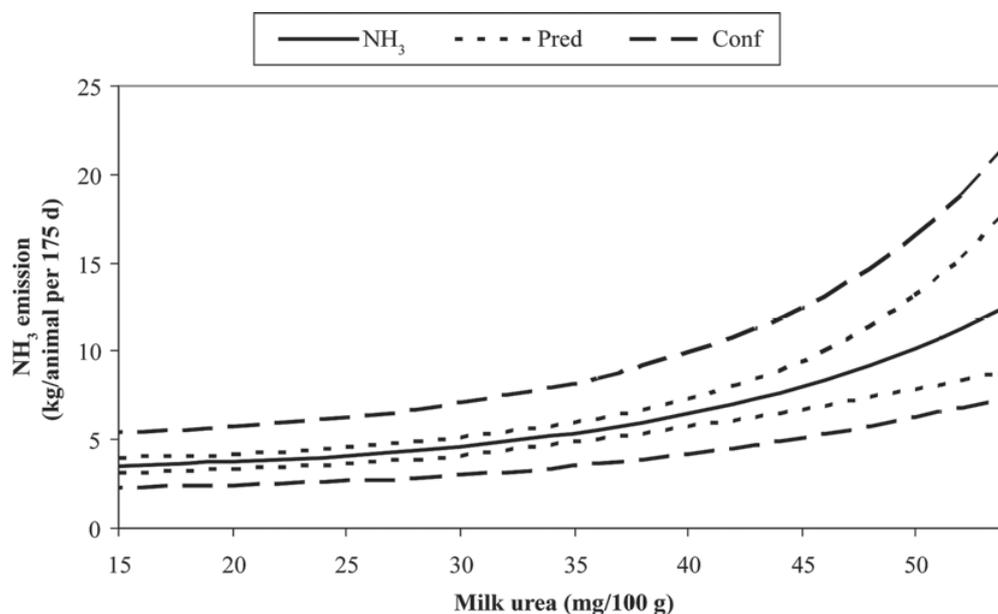
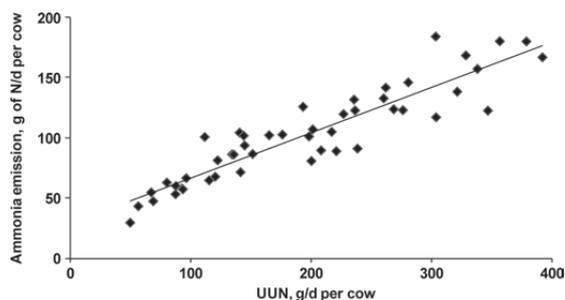


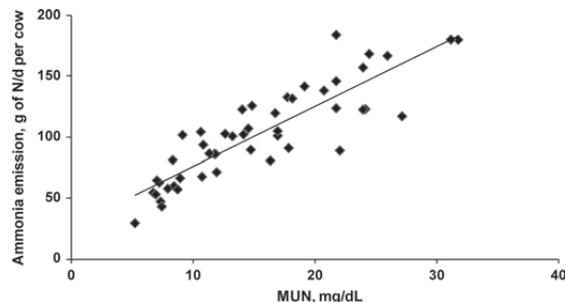
Abbildung 44. NH_3 -Emissionen im Stall in kg/Tier über 175 Tage in Abhängigkeit vom MUC mit Konfidenzintervall für erwartete Emissionen gemäss Modell mit konstanter Temperatur von 15°C (van Duinkerken et al 2011).

Die Arbeit von Burgos et al (2010) verdeutlicht nochmals den direkten Zusammenhang zwischen Harnstoff-N-Ausscheidungen im Harn, Milchharnstoff und Ammoniakverflüchtigung, die durch vier RP-Stufen der Ration (15, 17, 19, 21%) erzielt wurde (Abb. 45). Die NH_3 -Messung erfolgte im Labormaßstab mit Luftdurchfluss und ist daher als potenzielle NH_3 -Emission zu interpretieren. Die Größenordnung der NH_3 -Emission in g/Kuh,Tag liegt denn auch über den Stallmessungen von van Duinkerken et al (2005, 2011) und Schrade (2009). Eine relative Abschätzung des Einflusses des RP-Gehaltes kann gemacht werden. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen reduzierten sich die **NH_3 -Emissionen** um **10 %** bei einer Absenkung des **RP-Gehaltes** um **10 g/kg TS**. Ebenfalls unter Laborbedingungen haben Frank et al (2002) um 63.8 % reduzierte NH_3 -Emissionen gemessen bei einer Absenkung des RP-

Gehaltes der Ration von 19 % auf 14 %. Auf eine vergleichbare Grössenordnung kommt auch Külling (2000).



a) $\text{NH}_3\text{-N} = 28.8 + 0.377 \cdot \text{UUN} \text{ (g/Kuh, Tag)}$ $R^2 = 0.88$



b) $\text{NH}_3\text{-N} = 25 + 5.03 \cdot \text{MUN} \text{ (mg/dl)}$ $R^2 = 0.85$

Abbildung 45. Im Labormaßstab gemessene NH_3 -Emissionen in g N/Kuh und Tag in Abhängigkeit des Harnstoff-N im Harn (UUN) (a) und des Milchharnstoff-N (MUN) (b) (Burgos et al 2010).

In einem 3x3-Faktorenversuch mit Raufuttertyp (Luzernesilage im Austausch zu Maissilage), Stärke-Gehalt und „APD-Gehalt“ als Hauptfaktoren haben Weiss et al (2009) folgende Emissionsgleichung aus in vitro-Messungen abgeleitet:

$$48\text{-h flüchtige NH}_3\text{-N g/Kuh, Tag} = -14.5 - 27.9 \cdot \text{Luzerneanteil}(\%) + 17.4 \cdot \text{APD}(\%) - 1.87 \cdot \text{Stärke}(\%)$$

Die Luzernesilage hat mit zunehmendem Anteil am Raufutter die NH_3 -Emissionen als signifikanter Parameter vermindert, weil der Kot-N auf Kosten des Harn-N zunahm. Dies obwohl der Krafftutteranteil der Ration 50 % betrug. In diesem Versuch variierte die gemessene, in 48 h flüchtige Menge an $\text{NH}_3\text{-N}$ zwischen 40 und 170 g/Kuh und Tag.

Milchharnstoff widerspiegelt den Harnstoff-Turnover und ist mit den gleichen Futter-, Stoffwechsel- und Güllemerkmalen positiv korreliert wie die Ammoniakemissionen. Er eignet sich daher als Indikator, allerdings mit gewissen Einschränkungen und offenen Fragen, die in Tabelle 11 zusammengestellt sind.

Ein im Betriebsdurchschnitt optimaler Milchharnstoffgehalt kann grosse Variationen im Jahresverlauf und Laktationsverlauf maskieren, in denen sich Perioden mit Proteinüberschüssen (häufig im Sommer Ende Laktation, Galtphase) mit Perioden mit Protein- und Energiemangel (vorab Laktationsbeginn, im Hochsommer und Winter möglich) abwechseln. Am Grundsatz einer bedarfsdeckenden und ausgeglichenen Fütterung ist im Winter und Sommer und Laktationszyklus soweit möglich festzuhalten. Eine Absenkung des Milchharnstoffgehaltes sollte nicht über vermehrte Proteindefizite zustande kommen. Nicht zuletzt ist es emissionsrelevant, wo die Exkremate ausgeschieden werden. Bei Vollweide wird der grösste Teil der Exkremate in den Weideparzellen ausgeschieden. Aufgrund der raschen Versickerung des Harnes wird mit einer tieferen Emissionsrate als bei Stallhaltung mit

Verlusten im Stall sowie bei der Hofdüngerlagerung und -ausbringung gerechnet (Agrammon 2009). Der Milchwahnstoffgehalt allein sagt deshalb während der Sommerfütterung nur beschränkt etwas über die absoluten Ammoniakemissionen der Milchviehhaltung des Betriebes aus. Nicht laktierende Tiere wie Galkühe, Aufzuchtrinder und Mastrinder können logischerweise nicht über den Milchwahnstoff erfasst werden. Die Beurteilung des Emissionspotenzials dieser Tierkategorien könnte über eine Import-Exportbilanz (Masttiere) und Fütterungspläne erfolgen. Aufgrund der immer noch vorhandenen Reststreuung der Beziehungen zwischen Milchwahnstoff, N-Ausscheidungen und NH₃-Emissionen erhöhen zusätzliche Informationsquellen wie Fütterungspläne, Futteranalysen und Produktionsintensität die Sicherheit in der Interpretation.

Tabelle 11. Milchwahnstoff als Indikator: Beziehungen, Vorteile, Nachteile und offene Fragen

Beziehungen			Vorteile
	positiv korreliert	negativ korreliert	
Ration	RP _{Ration} g/kg TS RNB _{CH} g/kg TS RP/NEL _{Ration} N/VOS _{Ration}	NFC g/kg TS Stärke g/kg TS WSC g/kg TS WSC/RP _{Grünfutter} Tannin	<ul style="list-style-type: none"> ▪ korreliert positiv mit Harn-N-Ausscheidungen und somit NH₃-Emissionen ▪ zeigt Fütterungsungleichgewichte an ▪ nicht invasive Methode ▪ in Herdebuchbetrieben auf Einzeltierbasis verfügbar ▪ für Nicht-Herdebuchbetriebe als Service verfügbar <p style="text-align: center;">Nachteile</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ IR-Routineanalyse hat mangelnde Übereinstimmung mit der enzymatischen Methode. ▪ Einzeltierinterpretation bei IR-Analyse problematisch, auf Herdenbasis möglich ▪ Milchwahnstoff ist nur bei laktierenden Tieren einsetzbar. Trockenstehende Kühe, Aufzucht- und Masttiere können nicht erfasst werden. ▪ MUC reagiert rasch auf veränderte Futtergrundlage → sprunghafte Verläufe vorab im Sommer bedingen gewisse Analysehäufigkeit. ▪ Manipulationsmöglichkeit vorhanden ▪ Morgenmilch ≠ Abendmilch ▪ bei bivariaten Regressionen grosse Reststreuung ▪ MUC ist unspezifisch in Bezug auf Harnstoff-poolquelle, d.h. mehrere Ursachen sind gleichzeitig und gegenläufig möglich ▪ Rasseneffekt nicht völlig ausgeschlossen
Stoffwechsel	aRP NH ₃ Pansen BUN mmol/l UUN g/l, g/Tag Harn-N g/Tag Harn-N-Anteil an N-Exkretion %		
Tier	N Verzehr g/Tag RNB _{CH} g/Tag APD-Bilanz (Milchleistung)	LG NEL.Bilanz N-Effizienz	
Gülle	TAN g/l, % N _{tot}	C:N	
<p style="text-align: center;">Offene Fragen</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Analysenmethode ▪ Berechnungsmethode: Mittel der Einzeltierproben oder Tankmilchproben ▪ Tankmilchprobe ist nicht immer repräsentativ für Gesamtbestand ▪ Messfrequenz ▪ Definition Zielwert oder Zielbereich ▪ Unterschied zwischen Winter- und Sommerationen ▪ Flankierende Indikatoren für nicht laktierende Tiere (IMPEX und N-Effizienz) ▪ Korrekturfaktoren: Weidebetriebe pos., grosse Variation im Jahresverlauf neg. ▪ Einbezug zusätzlicher Infos wie Fütterungspläne, Produktionsintensität 			

2.4. Fütterungsmassnahmen

2.4.1. Allgemeingültige Grundsätze

Wie in den vorangehenden Kapiteln dargelegt, entstehen hohe N-Emissionen durch Rationsimbilanzen auf Stufe Pansen im Falle einer zu hohen N-Verfügbarkeit im Verhältnis zur fermentierbaren Energie und postruminal bei einer Proteinübersversorgung im Verhältnis zum Bedarf. Mit dem Grundsatz einer **bedarfsgerechten** und auf allen Verwertungsstufen **ausgewogenen** Ration lassen sich aus der Perspektive der Einzeltiere die **vermeidbaren N-Verluste minimieren**. Die praktische Umsetzung dieses Grundsatzes ist alles andere als trivial. Der Energie- und Proteinbedarf verändert sich entsprechend der Milchleistungskurve im Verlaufe eines Laktationszyklus recht drastisch. Aufgrund des beschränkten Verzehrsvermögen ist ein Energie- und Proteindexit Anfangs Laktation unvermeidbar. Hingegen kann Umfang und Dauer des Defizites gesteuert werden. Unter ad libitum Bedingungen können Kühe Ende der Laktation nur schon mit der Grundration Nährstoffe aufnehmen, die ihren Bedarf übersteigen (siehe Kap. 4). Die Nährstoffkonzentration der Ration ist herabzusetzen und/oder mit einer Mengenbeschränkung zu koppeln. Dies bedingt eine Phasenfütterung der Kühe, die über eine individualisierte Kraftfutterzuteilung hinausgeht und auch Anpassungen beim Grundfutter erfordert. Während der Winterfütterung ist eine Phasenfütterung machbar, stösst aber im Sommer bei Weidehaltung an Grenzen, da die Herde auf verschiedene Weideschläge gesplittet werden müsste. Bei der Bedarfsdeckung werden in der Praxis im Laktationsverlauf einer Milchkuh Kompromisse gemacht. Diese Kompromisse bieten Reduktionspotenzial bei den N-Ausscheidungen.

Bei punktueller Betrachtung bekommt die Ausgewogenheit der Ration, oder spezifischer, die **Synchronisation der Nährstoffverfügbarkeit** ein grosses Gewicht. Dieser Begriff beschränkt sich nicht auf die Sequenz und Frequenz der Futterkomponentenvorlage, sondern ist umfassender zu verstehen und schliesst die ruminale Abbaukinetik, Protein-Energieinteraktionen, Fermentationsmuster und mikrobielle Syntheserate wie auch den Intermediärstoffwechsel mit ein (Hall und Huntington 2008). Aus der Optimierung dieser Prozesse im Tagesverlauf ist eine Effizienzsteigerung zu erwarten. Die Auswirkungen einer synchronen Versorgung der Mikroorganismen mit Energie und N auf die mikrobielle Syntheseleistung und Leistungseffekte der Kuh werden andererseits kontrovers diskutiert (Cabrita et al 2006). Der Ausgleich der ruminalen Proteinbilanz (PMN-PME) als ein Synchronisationsschritt ist, wie mehrfach gezeigt, N-emissionsrelevant.

Aus der Sichtung der Literatur und der Auswertung der Schweizer Datensätze (Kap. 3) lassen sich **Richtwerte für eine N-emissionsarmen Fütterung** ableiten, die zu jedem Zeitpunkt der Laktation einzuhalten wären. Für N-emissionsmindernde Fütterungsmassnahmen sind die Richtwerte als Orientierungshilfe anzusehen, die einen gewissen Manövrierspielraum zulassen, aber für Grassilagerationen und Sommerrationen durchaus einen restriktiven

Charakter haben. Optimale Verhältnisse sind dann erfüllt, wenn die ruminale Bilanz und die Nährstoffbilanz im Gleichgewicht sind und die Pansenfunktion (pH) nicht belastet wird.

Richtwerte für eine N-optimierte Fütterung mit reduziertem NH₃-Emissionspotenzial

Rationsmerkmale: - RP-Gehalt <18 % (Abb. 58, 59)
(Gesamtration) - RP/NEL-Verhältnis <25 g/MJ (Abb. 60)
- N/VOS-Verhältnis <40 g/kg (Abb. 60)
- ruminale Proteinbilanz <600 g/Tag, <30 g/kg TS (Abb. 46, 61)
- MPP_{NEL}, MPP_{APDE}, MPP_{APDN}, ausgewogen, bedarfsgerecht

Fütterungstechnik: - mehr als 2x Kraftfutter/Tag über Kraftfutterautomat oder Futtermischwagen verabreicht
- Sonderfall Weide: postulierte Rationsmerkmale werden ohne Ausgleichfütterung nicht eingehalten werden können. Der hohe N-Anfall auf der Weide hat durch die Bodenversickerung ein tiefes Emissionspotenzial bei allerdings tiefer N-Effizienz. Korrekturfaktoren in Abhängigkeit der Weidedauer einführen.

Milchharnstoff: < 25 mg/dl

In Rationengestaltung und Fütterungsmassnahmen übersetzt, ergeben sich folgende, grundsätzliche Ansatzpunkte:

- Futtermenge: periodische Überprüfung des Futtermehrs
- Rationszusammensetzung: RP, RP/NEL-Verhältnis, N/VOS, MPP_{NEL}, MPP_{APD} gemäss Richtwerte
- Synchronität der Abbaukinetik soweit bekannt berücksichtigen
- Ausgleich der ruminalen Proteinbilanz (PMN-PME): da positive ruminale Bilanzen in graslandbasierten Rationen vorherrschen (Abb. 46), kommen für einen Ausgleich der gezielte Einsatz von Hackfrüchten, Rübenschnitzel, Ganzpflanzenmais, Maiskolbenschrot, Getreideganzpflanzen, Dürffutter von älteren Nutzungsstadien, Trester, Getreide und reine Stärke in Frage.
- Fütterungstechnik: angepasste Ergänzungsfütterung zum Ausgleich der ruminalen Bilanz und des MPP der Grundration, Timing der Ergänzungsfütterung, TMR
- Kraftfuttermehrsverarbeitung: Stärkeaufschluss, pansenstabiles Protein
- Besondere Inhaltsstoffe oder Zusätze mit Wirkung auf aRP und ruminale NH₃: Tannine, Saponine, ätherische Öle, langsam verfügbarer NPN.

Einige zusätzliche Erläuterungen zu den Ansatzpunkten zeigen Möglichkeiten und Grenzen auf. Zur gezielten Auswahl und Kombination von Rationskomponenten müssen Kenntnisse über die ruminale Abbaukinetik von Proteinen wie Kohlenhydraten vorliegen, die aber noch lückenhaft sind. Die Ergänzung von Maissilage mit langsam fermentierbaren

Krafftutterkomponenten (=synchron) verbessert gegenüber rasch fermentierbarem Krafftutter (=asynchron) die mikrobielle Rohproteinsynthese ausgedrückt als g RP/kg VOS (Südekum 2010). Bei Grassilage ist angesichts der hohen Abbaubarkeit des RP rasch fermentierbares Krafftutter als synchron einzuordnen. Wegen den Kenntnislücken in der Abbaukinetik kann auf das RP/NEL-Verhältnis der Ration und die ruminale Proteinbilanz zurückgegriffen werden, um eine Ration zu optimieren.

Die **Abbaukinetik** beeinflusst über den zeitlichen Verlauf der Ammoniakkonzentration im Pansen den Harnstoffpool. Werden leicht fermentierbare Energieträger (Stärke, Zucker, Pektin) als Ergänzungsfutter in einer Ration mit einem Proteinüberhang eingesetzt, lässt sich der Ammoniakgehalt im Pansen deutlich absenken mit dem Effekt von reduzierten Harn-N-Ausscheidungen und Milchwahnstoffgehalten (Van Vuuren et al 1993, Bargo et al 2003, Hristov et al 2005). Bei hohen Mengen von rasch abbaubarem Zucker und Stärke besteht allerdings ein erhöhtes Risiko einer Pansenübersäuerung, was es zu vermeiden gilt.

Auf der Seite der Proteinträger erhöht eine hohe **Abbaubarkeit des Rohproteins** die Ammoniakkonzentration im Pansen und den Harnstoff-Turnover im Harn und der Milch. Mit behandeltem Sojaschrot (Soypass) konnte im Versuch von Reynal und Broderick (2005, siehe Abb. 10) die Abbaubarkeit des Rohproteins der Ration von 69 % auf 61.5 % reduziert und die Harnstoff-N-Ausscheidung im Harn um 31 % vermindert werden.

Die Abbaubarkeit des Rohproteins wird durch **Hitzebehandlung** generell verringert. Bei **Raufutter** haben Dürrfutter und künstlich getrocknetes Raufutter eine tiefere RP-Abbaubarkeit als Grünfutter (Abb. 46). Der **Silierprozess** dagegen erhöht die Abbaubarkeit aufgrund der stattfindenden Proteolyse im Futter mit vermehrter Bildung von löslichen NPN-Verbindungen (Hoedtke et al 2010). Innerhalb der gleichen Konservierungsform nimmt die ruminale Proteinbilanz mit steigender aRP zu, die in frühen Nutzungsstadien hoch ist. Daneben bewirken **Tannine** in Futterleguminosen durch ihre Bindung an Proteine eine Reduktion der RP-Abbaubarkeit, im Fall der Esparsette auf unter 60 % (Abb. 47). Mit tanninhaltigen Pflanzen als Rationskomponenten werden eine erniedrigte ruminale Ammoniakkonzentration, eine Verschiebung der N-Ausscheidung vom Harn zum Kot und als Konsequenz tiefere Blutharnstoffgehalte beobachtet (Dohme und Arrigo 2009; Woodward et al 2009). Die vermehrte Kot-N-Ausscheidung in Gegenwart von Tannin führt in vivo zu einer reduzierten scheinbaren Verdaulichkeit des Proteins (Abb. 47). Die Vorteile eines Teilschutzes des Proteins vor dem Pansenabbau könnten durch eine verschlechterte postruminale Verdaulichkeit aufgehoben werden, wie dies unter in vitro Bedingungen gezeigt wurde (Cortés et al, 2009). In einer Situation mit hohem Proteingehalt der Ration (Grünfütterung) ist die Proteinversorgung der Kühe nicht gefährdet, wenn durch tanninhaltiges Ergänzungsfutter vermehrt Kot-N anfällt. Der Kot-N enthält weniger flüchtigen N. Im Labormassstab konnte denn auch die emissionsmindernde Wirkung von Tanninen gezeigt werden (Misselbrook et al 2005;

Sliwinsky 2004). Gülle von Kühen, die mit Hornklee (50 % der Ration) gefüttert wurden, emittierten weniger Ammoniak als bei Luzernesilage (Misselbrook et al 2005).

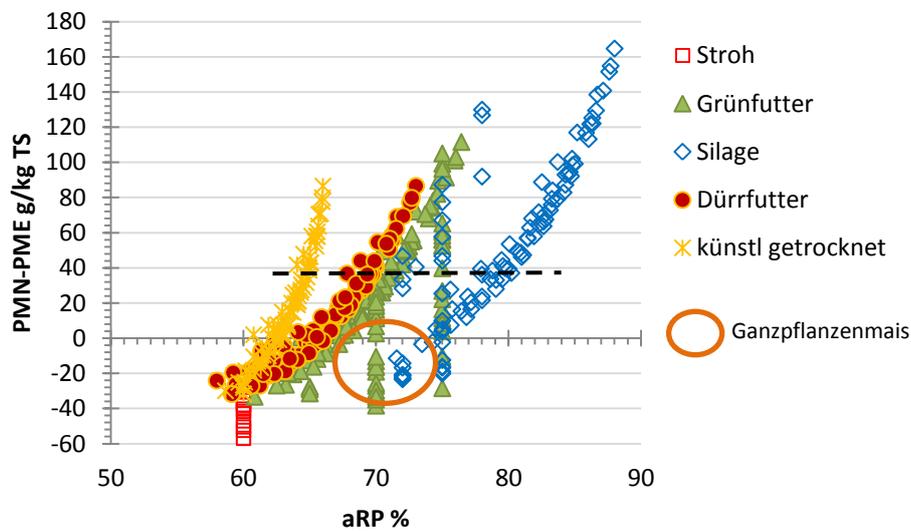


Abbildung 46. Abbaubarkeit des Rohproteins und ruminale Proteinbilanz von Raufutter (schweiz. Futtermitteldatenbank, www.feedbase.ch, 2011).

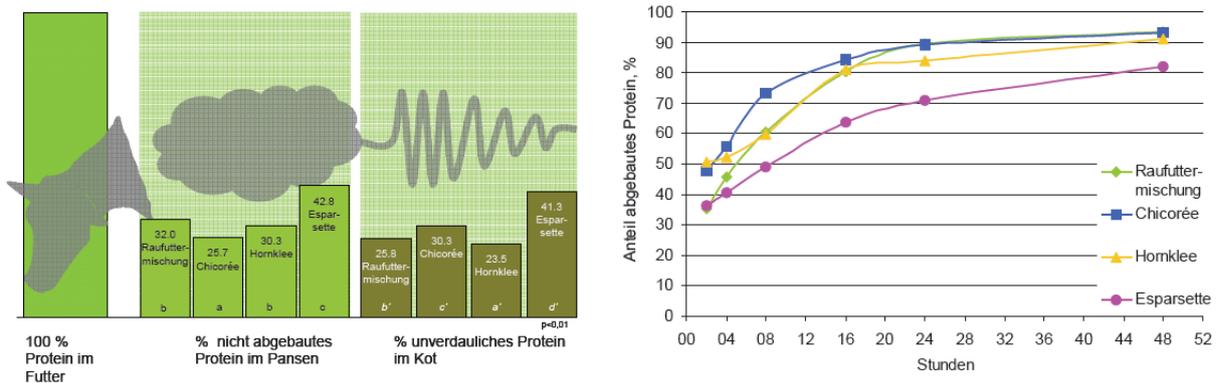


Abbildung 47. Abbaubarkeit (in sacco an Kühen) und an Schafen ermittelte Verdaulichkeit des Rohproteins von schonend getrockneter, tanninhaltiger Esparette, Hornklee und Chicorée im Vergleich zu einer Luzerne-Grasmischung (SM 310) (Arrigo und Scharenberg 2008).

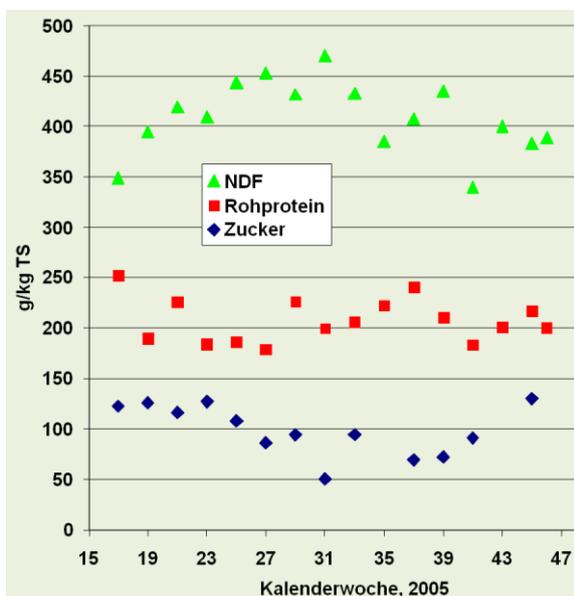
Eine grundsätzlich hohe Wirkung auf die Reduktion der N-Ausscheidungen und insbesondere der Harn-N-Ausscheidungen wird in einer Überschusssituation durch die Verminderung des **RP-Gehaltes** der Ration erreicht. Milchkühe schieden 40 % weniger Harn-N aus, wenn der RP-Gehalt der Ration von 18.4 auf 15.1 % herabgesetzt wurde (Broderick 2003). In zahlreichen weiteren Arbeiten mit Proteinstufen wird das Ausmass der Wirkung auch mit Hochleistungskühen bestätigt (Olmos Colmenero und Broderick 2006, siehe Abb.11; Castillo et al 2001, Wattiaux und Karg 2004a, b, Misselbrook et al 2005, Groff und Wu, 2005). Unterhalb des Eckpunktes von 18 % RP in der Ration besteht noch ein erhebliches Reduktionspotenzial.

Die **Fütterungstechnik** im engeren Sinn umfasst die Sequenz von Rationskomponenten und die Frequenz der Fütterung. Beide Aspekte beeinflussen die Pansenfunktion. Mit einer mehr als zweimaligen Kraffutterzuteilung oder TMR-Fütterung konnte De Campeneere et al (2009) die ruminale NH_3 -Konzentrationskurve verflachen, die Harn-N-Ausscheidung reduzieren und die N-Effizienz verbessern. Die tieferen Milchharnstoffgehalte von Kühen, denen eine gemischte Grundfütterration vorgelegt wurde verglichen mit Kühen mit einer ungemischten Ration deutet ebenfalls stabilere Pansenverhältnisse an (Nydegger et al 2005).

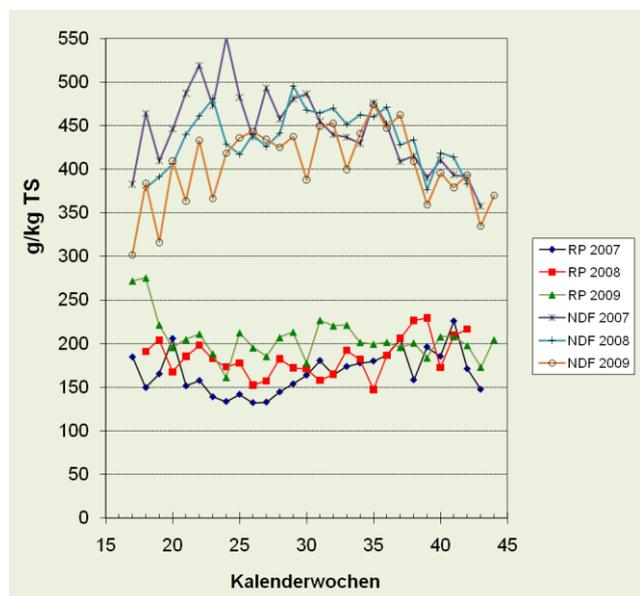
2.4.2. Massnahmen Grünfütterung (Sommerfütterung)

Die Grundsätze einer emissionsarmen Rationengestaltung gelten sinngemäss auch für die Grünfütterung. Bei Grasland basierten Rationen stösst man bei der Umsetzung an Grenzen, die auch strategisch begründet sind: das Konzept Graslandmilch verträgt kein oder nur wenig Ergänzungsfutter.

Grünfutter ist gekennzeichnet durch eine hohe RP-Abbaubarkeit und ruminalen N-Überschuss (Abb. 46). Die positive ruminale Proteinbilanz der Nutzungsstadien 1-3 zieht ohne Ausgleichsfütterung einen hohen Harnstoffpool nach sich mit den bekanntlich hohen Harn-N-Ausscheidungen und tiefer N-Effizienz. Dazu gesellt sich eine ausgeprägte Variabilität der Futterquantität und -qualität, die unter Saison-, Witterungs- und Nutzungs- und Standorteinflüssen stehen (Abb. 48).



Standort Posieux, 650 m.ü.M (Münger 2008)

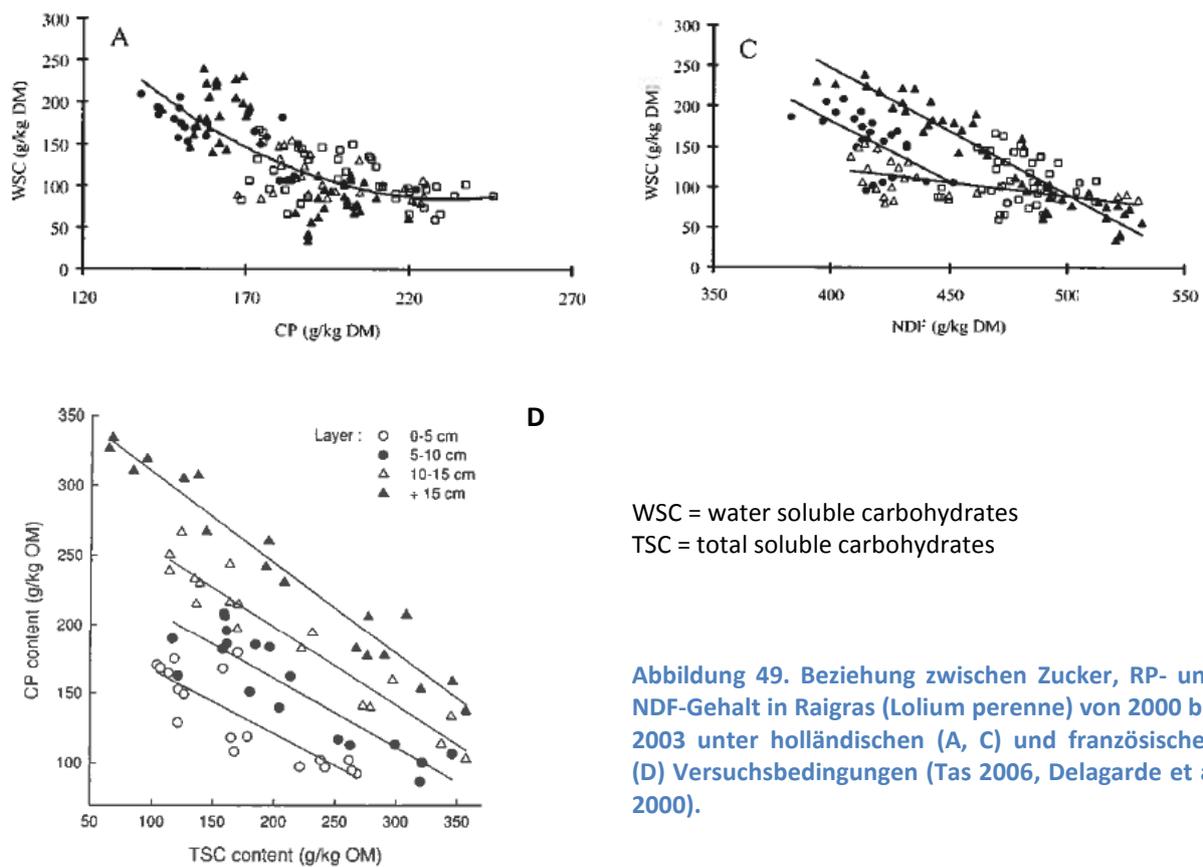


Standort Sorens 824 m.ü.M (Schori 2010)

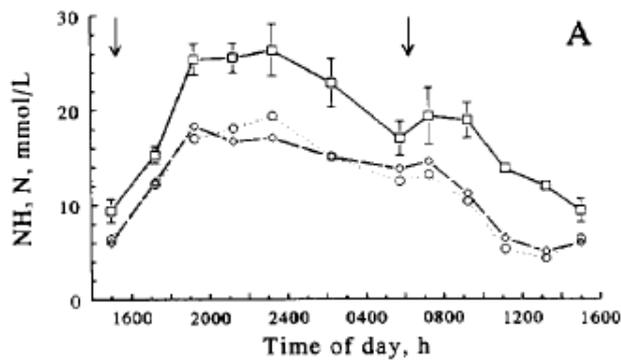
Abbildung 48. Variation der Weidegrasqualität an den Standorten Posieux (konventionell) und Sorens (bio)

Es besteht eine negative Beziehung zwischen Protein- und Kohlenhydratgehalt (lösliche Zucker und Strukturkohlenhydrate der Zellwand) im Grünfutter, die jahresabhängig ist (Abb. 48

A, C) und innerhalb der Pflanzenschicht noch variiert (Abb. 49 D). In der Arbeit von Abrahamse (2009) konnte zudem gezeigt werden, dass im Verlaufe eines Weideumtriebes von 4 Tagen der Proteingehalt von 165 g/kg TS (Tag 1) auf 135 g/kg TS (Tag 4) abfiel und der NDF-Gehalt von 440 g auf 480 g/kg TS anstieg bei leicht fallendem Zuckergehalt. Dies hängt mit der veränderten Pflanzenmorphologie zusammen. Der Milchharnstoffgehalt der Weidekühe ist dabei von 26.7 mg/dl (Tag 1) sukzessive auf 20.7 mg/dl (Tag 4) gefallen. All diese Einflüsse machen eine korrekte Futtereinschätzung sehr schwierig. Aus der Perspektive der Milchkühe erfordert die ständige Variabilität in der Grundfuttermenge und -zusammensetzung ein hohes Mass an Anpassungsfähigkeit.



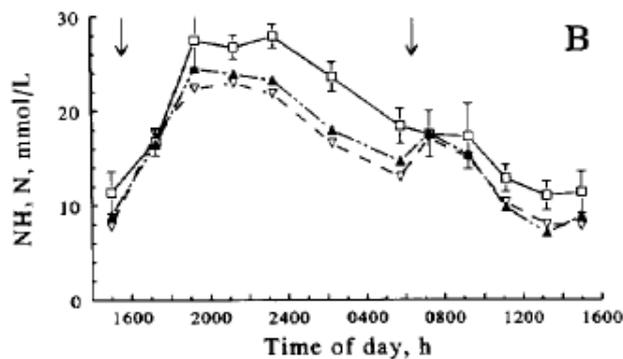
Neben der Schwierigkeit, den Futterwert des Grünfutters punktuell richtig einzuschätzen, erschwert der variable Futterverzehr, der unter Weidebedingungen nur mit grossem Aufwand genau erhoben werden kann, eine bedarfsgerechte Fütterung. Dies erklärt auch den sprunghaften Verlauf im Milchharnstoffgehalt im Sommer (Abb. 50, Mürger 2007, 2008, 2009). Abgestimmt auf die Grünfutzernutzung und Weideführung hat das **Weidebeifutter** während des Sommers folgende Funktionen, wobei zu unterscheiden ist zwischen leistungsbezogener Ergänzung und Ausgleichsfütterung: Deckung des Bedarfs, der das Milchproduktionspotenzial der Grundration übersteigt, Ausgleich der ruminalen Imbalanz, Verbesserung des Strukturwertes und Schliessen von zeitlich begrenzten Versorgungslücken



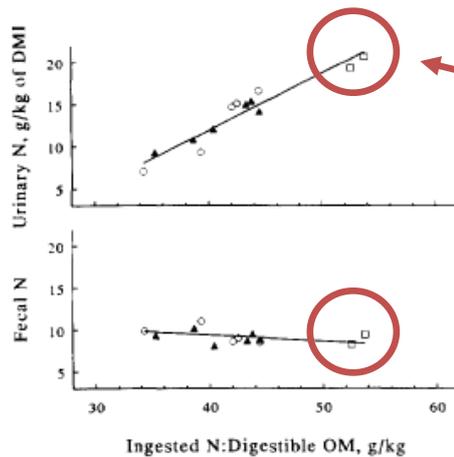
NH₃-Konzentration im Pansen

- Gras ohne Ergänzung
-○ Gras + Trockenschnitzel
- - -◇ Gras+Rübenschnitzelsilage

Gras: 22 % RP_{TS}
 Ergänzungsfutter: 4.6 kg TS
 Milch: 16 kg



- Gras ohne Ergänzung
-▲ Gras+Kolbenschrotsilage
- - -▽ Gras+Kolbenschrotsilage mit Lieschen



Kot- und Harnausscheidung

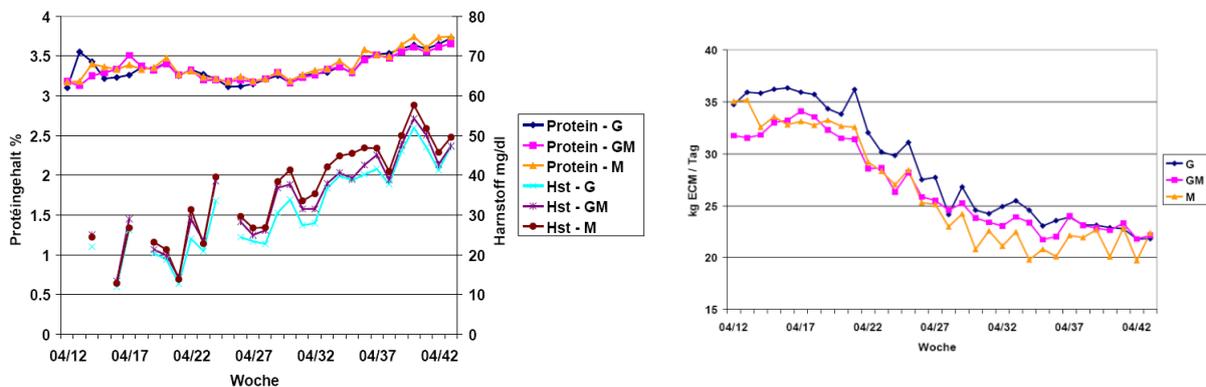
Keine Ergänzung

Abbildung 50. Einfluss der Ergänzungsfütterung zu Raigras reichem Grünfütterung auf die NH₃-Konzentration im Tagesverlauf, A: Zuckerrübenschnitzel, B: Kolbenschrotsilage, und die Kot-N und Harn-N-Ausscheidung in Abhängigkeit des N:VOS-Verhältnisses (Van Vuuren et al 1993)

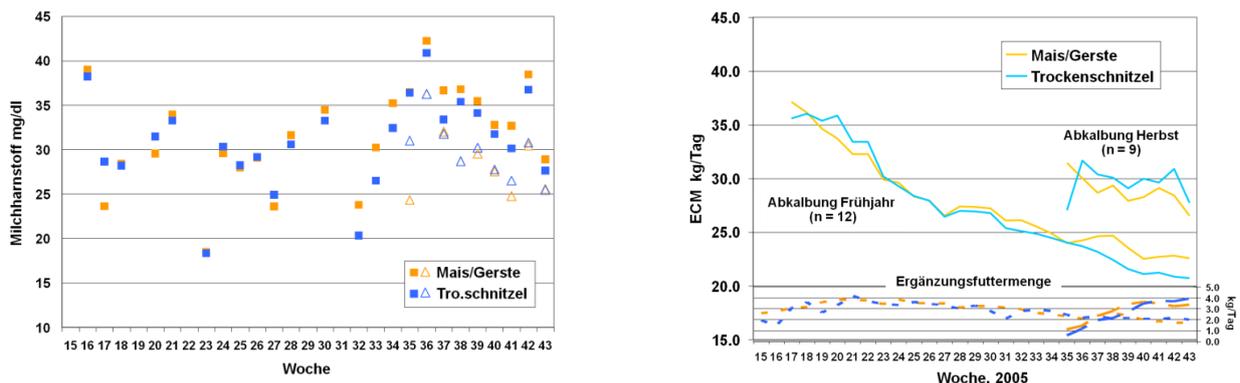
Im Versuch von Van Vuuren mit Grünfütterung wurde das N/VOS-Verhältnis als Kriterium für die ruminale Bilanz verwendet (Abb. 50). Die Ergänzung von Raigras mit **CCM** oder **Rübenschnitzel** hat die ruminale NH₃-Konzentration und die Harn-N-Menge mit sinkendem N/VOS-Verhältnis verringert. Analog hat in einem schweizerischen Weideversuch mit fistulierten Kühen mit den Varianten Vollweide, Tagweide +5.5 kg TS Heu, Tagweide +5.5 kg TS Maissilage, die **Maissilage**zufütterung den MUN-Gehalt von 216 mg/kg auf 136 mg/kg markant reduziert (Graf 2005). Gegenüber der Vollweide ist der Grasverzehr von 13.2 auf 9.7 kg TS gefallen, dagegen stieg der Gesamtverzehr von 13.5 auf 15.7 kg. Die Verschiebung in der Rationszusammensetzung hat den RP-Gehalt der Gesamtration von rund 170 g/kg TS auf 135 g/kg TS gesenkt, was sich entsprechend mit reduziertem Ammoniakgehalt im Pansen und

reduziertem Blutharnstoffgehalt auswirkte und die Beeinflussung des Harnstoff-Turnovers anzeigt. Die Heuzufütterung hat die Grasaufnahme stärker verdrängt und der Effekt auf den Milchharnstoffgehalt war in diesem Versuch nicht signifikant.

In einer Reihe von Weideversuchen mit unterschiedlichen **Krafftuttertypen**, die sich entweder in der Stärkeabbaubarkeit (Mais gegenüber Gerste) oder in der Kohlenhydratform (Getreidestärke gegenüber Pektin und Zellwandfasern) unterschieden, kommt Münger (2007, 2008) zum Schluss, dass die Art der leistungsabhängig zusätzlich angebotenen Energie in Bezug auf die Produktionsreaktion von untergeordneter Bedeutung ist. Hinsichtlich des Milchharnstoffgehaltes bewirkt die Zufütterung von Gerste eine etwas tiefere Verlaufskurve als die Maisvariante (Abb. 51a). Auffallend ist der gegen den Herbst hin in allen Varianten zu beobachtende stetig zunehmende Harnstoffgehalt, der bis auf 60 mg/dl ansteigt. Dies lässt auf sehr hohe Harn-N-Ausscheidungen schließen, die mit einer Krafftutterzuteilung, die erst oberhalb von 22 kg Milch einsetzt, nicht korrigiert werden können.



a) Gerste im Vergleich zu Mais und Gerste/Mais

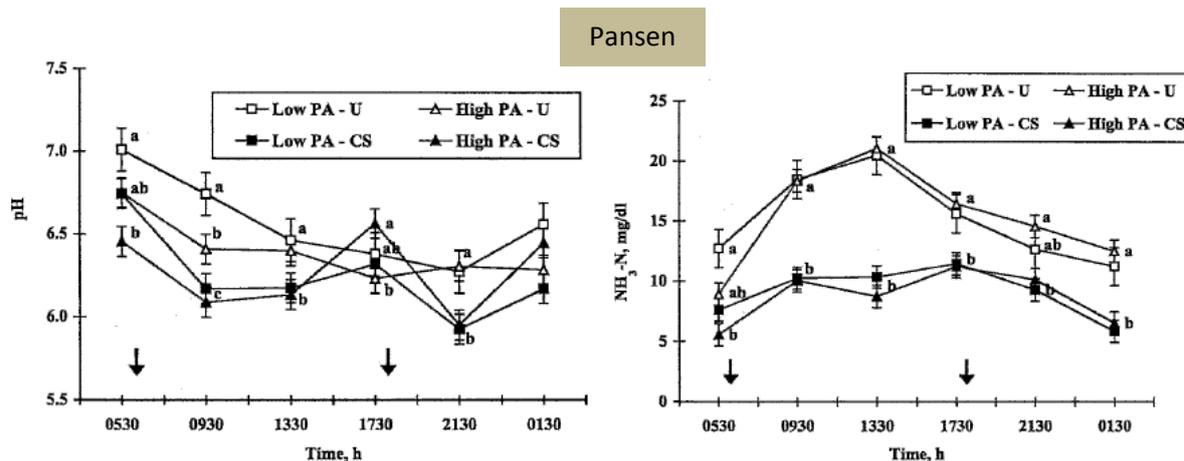


b) Gerste/Mais im Vergleich zu Zuckerrübetrockenschnitzel

Abbildung 51. Milchharnstoffgehalte und Milchleistung bei Vollweide im Saisonverlauf bei Variation des Krafftuttertyps. G=Gerste, M=Mais, Tro.schnitzel=Zuckerrübetrockenschnitzel, Hst= Harnstoff (Münger 2007, 2008)

Für Kühe Ende der Laktation macht es Sinn, wenig bis kein Krafftutter mehr zu geben. Allerdings könnte in dieser Phase der Laktation die Beifütterung von älterem Heu oder tanninhaltigem Raufutter, zum Beispiel Esparsettenpellets, die Harnstoffbelastung reduzieren

helfen. Es wurde allerdings die Erfahrung gemacht, dass Esparsette in Form von Heu nicht immer gefressen wird (Dohme und Arrigo, 2009). Im Versuchsdurchgang Gerste/Mais im Vergleich zu Zuckerrübetrockenschnitzel als Weidebeifutter wurde eine Mindestmenge von 2 kg bis in den Herbst zugeteilt (Abb. 51b). Der Milchwahstoffgehalt erreicht nicht mehr die hohen Werte des vorangegangenen Weideversuchs. Die Art des Energieangebotes im Beifutter, Stärke oder Zellwand, beeinflusste den Milchwahstoffgehalt nicht wesentlich.



	low PA-U	low PA-CS	high PA-U	high PA-CS
Weideangebot kg TS/Tag	26.7	26.7	48.9	48.9
RP _{Ration} %	19.7	17.9	19.3	17.5
NEL _{Ration} MJ/kg TS	6.78	7.11	6.82	7.11
Weideverzehr kgTS/ Tag	17.5	15.5	20.5	16.1
Ef kg TS/Tag	0.8	8.6	0.7	8.7
TSV kg TS/Tag	18.3	24.1	21.2	24.8
Milch kg/Tag	19.1	29.7	22.2	29.9
Fett %	3.82	3.29	3.79	3.32
MUN mg/dl	13.9	11.6	14.2	11.1
Pansen pH	6.57	6.25	6.40	6.29
NH ₃ -N _{Pansen} mg/dl	15.22	9.14	15.33	8.71
N-Verzehr g/Tag	591.1	654.2	657.8	670.8
Kot-N g/Tag	156.9	184.3	158.7	196.6
Harn-N g/Tag	244.5	172.9	213.4	182.6
Milch-N g/Tag	92.3	131.2	100.9	138.0
Harn-N/N-Exkr %	61.03	48.40	54.70	48.15
Milch-N/N-Verzehr %	15.7	20.0	15.8	20.6

Abbildung 52. Tagesverlauf des ruminalen pH und Ammoniakgehaltes von Weidekühen ohne und mit Kraftfutterergänzung bei zwei Weideangebotsstufen (Bargo et al 2002a). Pfeile kennzeichnen den Zeitpunkt der Kraftfutterfütterung. PA = pasture, U = unsupplemented, CS = concentrate supplement.

Die maisbetonte **hohe Kraftfutterergänzung** von über 8 kg TS, eine in Nordamerika übliche Menge, hat den Weideverzehr reduziert, aber die Gesamtfutteraufnahme und damit die Energieaufnahme wurden erhöht, was die Milchleistung bei tiefem Weideangebot um 10 kg verbesserte bei allerdings deutlich tieferem Fettgehalt der Milch (Abb. 52). Der RP-Gehalt der Ration sank von über 19 % auf 17.5 bzw 17.9 %. Die Ammoniakkonzentration und der pH im Pansen, Blut- und Milchwahstoff sowie die Harn-N-Ausscheidung gingen zurück trotz höherer N-Aufnahme. Damit sank der Harn-N-Anteil an den N-Ausscheidungen. Die N-Effizienz wurde

verbessert bei generell tiefem Niveau. Wegen langer Versuchsdauer ist auch die Phase Ende der Laktation eingeschlossen. Es wird eine rechnerisch hohe positive Bilanz berechnet, was messtechnisch begründet sein könnte: Kotmenge über Chromoxyd und Harnvolumen über Creatinin geschätzt. Generell sind die Effekte bei tieferem Weideangebot grösser als bei höherem Weideangebot. Hohes Weideangebot erhöht den Weideverzehr, was ein vielfach beobachtetes Phänomen bestätigt. Zu analogen Ergebnissen kommt auch Reis und Combs (2000) in einem Weideversuch mit keiner, 5 kg oder 10 kg Ergänzung mit Mais. Insbesondere der Milchwahstoffgehalt aber auch der Milchfettgehalt gehen mit Ergänzungsfütterung markant zurück.

Mit 10 kg Krafftutter erreicht man einen Krafftutteranteil von 50 %. Ob dies noch als wiederkäuergerecht anzusehen ist, darf bezweifelt werden. Tiefe N-Emissionen sollten nicht durch einseitig hohe Krafftuttermengen erzwungen werden. Als Alternative bietet sich die **TMR-Strategie** oder als Zwischenlösung die **Halbtagesweide** mit **Teilmischung** an. Bargo et al (2002b, c) hat diese Strategien über eine ganze Weidesaison getestet und mit der Vollweide + Krafftutter verglichen (Abb. 53). In allen drei Varianten wurde ein kritisch tiefer Pansen pH beobachtet. Mit TMR konnte gegenüber der Vollweide die Ammoniakkonzentration im Pansen und der Milchwahstoffgehalt gesenkt und auf einem stabileren Niveau mit kleineren Ausschlägen gehalten werden. Die Persistenz der Milchleistung war deutlich besser, da mit TMR wesentlich mehr Futter gefressen wurde. Die Strategie Halbtagesweide siedelt sich in den Effekten in der Nähe der TMR an. Man kann sich die Frage stellen, ob Hochleistungskühen eine Vollweidestrategie zugemutet werden kann. Bei Versuchsbeginn produzierte die Versuchsherde 45 kg Milch. Der **Weideverzehr stösst offensichtlich auf Grenzen**. Der Nährstoffbedarf kann auch mit hohen Krafftuttermengen nicht gedeckt werden. Welcher Strategie der Vorzug zu geben ist, ist auch abhängig von den Produktionskosten und den innerbetrieblichen N-Flüssen.

Der Ansatz, den Weideverzehr mit sogenannten **high sugar Grassorten** zu verbessern, hat zu widersprüchlichen Versuchsergebnissen geführt. Die effektiven Unterschiede im Zuckergehalt sind zwischen den Sorten nicht immer gross genug und die Ausprägung ist jahres- und saisonabhängig (Tas et al 2006a, Pacheco et al 2009). Grassorten mit dem tiefsten Zuckergehalt führten tendenzmässig zu höheren Milchwahstoffgehalten. Die gezielte Ausnutzung von Tagesschwankungen im Zuckergehalt von Grünfütter scheint eine erfolversprechendere Alternative zu sein. Nachmittags- und Abendweide profitieren von höheren Zuckergehalten. Erste Hinweise haben sich in einem Weideversuch von Agroscope (Versuch EVWE, Agroscope ALP 2008, siehe Abb. 42) ergeben und werden in Folgeversuchen weiterverfolgt. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Frage, wie der Zucker, der in Grünfütter als Fructan vorliegt, analytisch am besten erfasst wird und ob die pansenphysiologischen Abläufe bei hohen Zuckergehalten nicht beeinträchtigt werden.

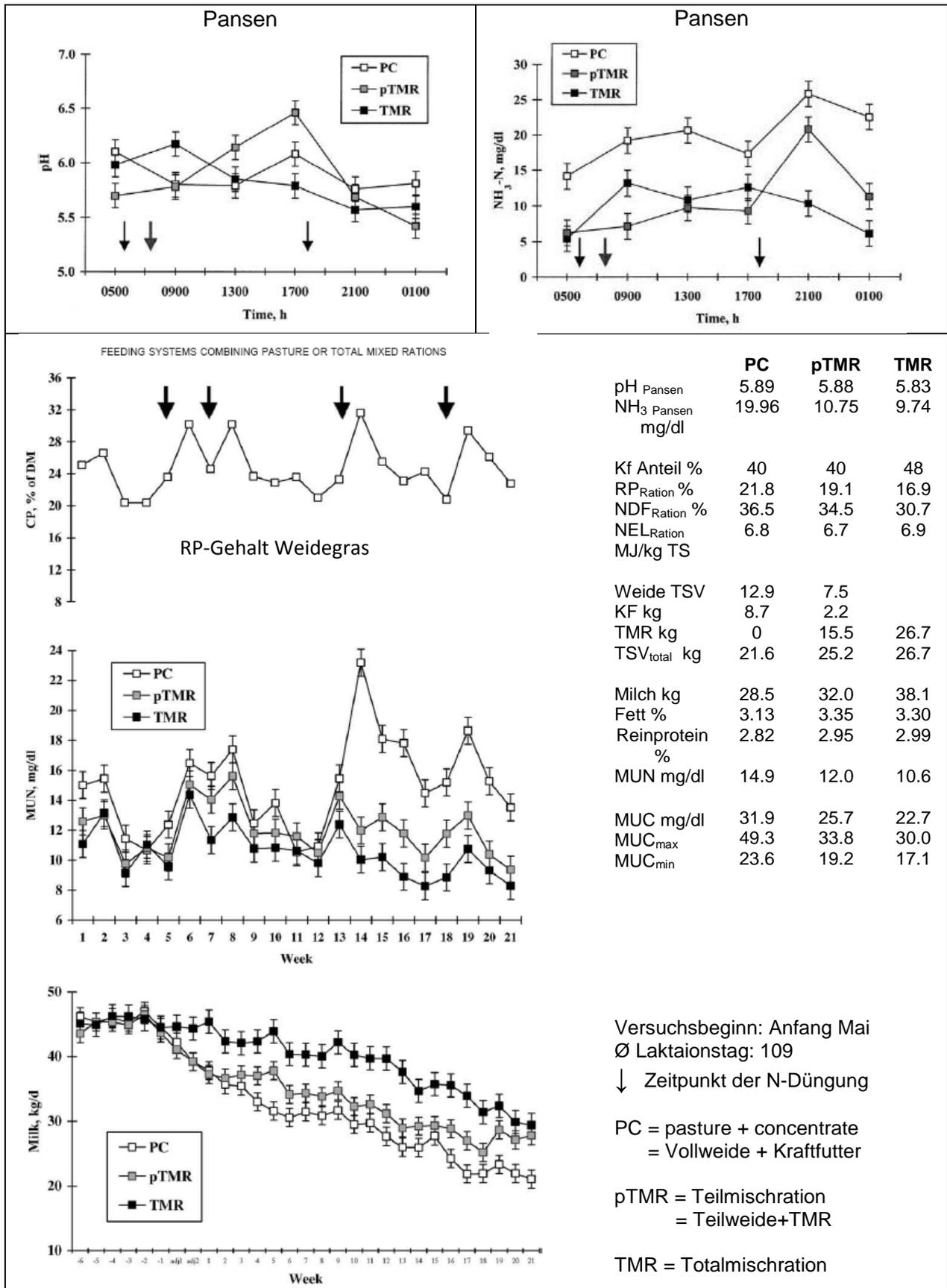


Abbildung 53. Vergleich von drei Sommerfütterungsstrategien auf TSV, Pansenfunktion, Leistung und MUN bei Hochleistungskühen (Bargo et al 2002b, c)

2.4.3. Gesamtbetrieblicher Ansatz

Für die Beurteilung einer ressourcenschonenden, emissionsarmen und effizienten Produktion ist die Systemgrenze vom Einzeltier auf den Gesamtbetrieb auszudehnen. Die Optimierung des N-Umsatzes im Submodell Einzeltier heisst noch nicht, dass der Betrieb als System optimiert ist. Von Tieren ausgehende N-Emissionen müssen mit der Dimension *Fläche* verknüpft werden. Die Systemteile *Tierhaltung*, *Hofdüngerproduktion*, *Boden* und *Futterproduktion* hängen zusammen und haben Abstimmungsbedarf (Abb. 54). Zum Beispiel bewirkt die Beifütterung von Getreide, Proteinkonzentrat oder Maisganzpflanze an Weidetiere auch eine Verschiebung von N von Ackerflächen in Grünlandflächen und beeinflusst die Hofdüngerzusammensetzung. Handelt es sich dabei um zugekaufte Futter, wird die N-Bilanz des Gesamtbetriebes belastet. Ein weiteres Beispiel: eine hohe Einzeltierleistung garantiert noch keine gute N-Effizienz, wenn die Nutzungsdauer und Herdenfruchtbarkeit auf tiefem Niveau liegen. Die Fokussierung auf Ammoniakemissionen allein vernachlässigt weitere N-Verlustquellen, die in N-Überschussituationen zunehmen. Das Verlustrisiko hängt vom Produktionssystem und der Bodenart ab. Wie Abbildung 55 zeigt, ist das Risiko von Nitratauswaschung im Kunstfutterbau höher als bei Dauergrünland.

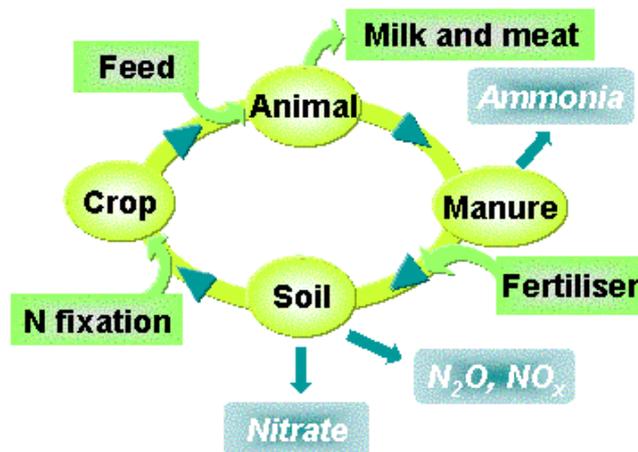


Abbildung 54. N-Kreislauf auf Betriebsebene (<http://www.rednex-fp7.eu/>).

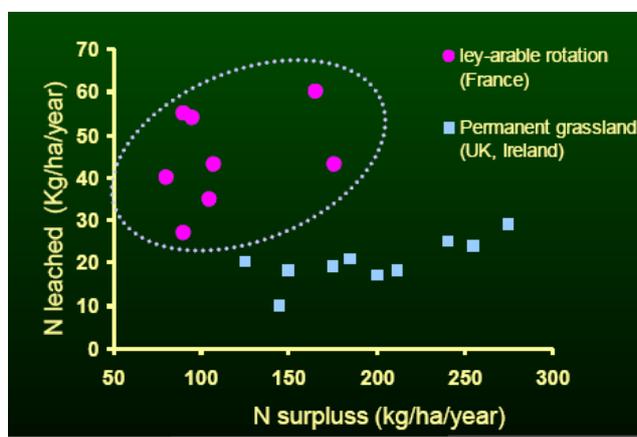


Abbildung 55. N – Auswaschung, N- Überschuss pro ha bei Kunstfutterbau Fruchtfolgesystem und Dauergrünland (Peyraud et al 2010)

Die optimale Ausnutzung des innerbetrieblichen N-Kreislaufes wird alle N-Emissionen auf ein unvermeidbares Mass reduzieren. Dies ist der Ansatzpunkt verschiedener EU-Forschungsprogramme, die im Fokus der Nitratrichtlinie und der Notwendigkeit zu deren Einhaltung zu sehen sind: die beiden Interreg Projekte (Westatlantikregion) *Green Dairy* und *Dairyman* und das FP7 Projekt *RedNEx* (Innovative and practical management approaches to reduce nitrogen excretion by ruminants, <http://www.rednex-fp7.eu>). Im Rahmen dieser Programme wird nach einer verbesserten Nachhaltigkeit in Milchproduktionssystemen gesucht. In *Green Dairy* wurde besonderes Gewicht gelegt auf die Erfassung der N-Flüsse und N-Emissionen in Pilotbetrieben und Versuchsstationen. Diese wurden in Beziehung zu Standort- und Produktionsfaktoren gebracht (Chambaut et al 2007). Die Untersuchungen belegen eine grosse Variabilität in den betrieblichen N-Flüssen und es besteht eine Tendenz zu höheren N-Überschüssen/ha bei höherer Flächenproduktivität der Milchvieherde.

In diesen Rahmen gehören auch die Untersuchungen in holländischen **Pilotbetrieben**, die über mehrere Jahre begleitet wurden mit dem Ziel, über Fütterungsmassnahmen die N-Effizienz zu verbessern, die N-Ausscheidungen der Milchvieherde und N-Bilanz des Betriebes zu vermindern und das C:N-Verhältnis im Hofdünger zu erhöhen (Reijs, 2007). Als Zielwerte wurden folgende Fütterungsmerkmale vorgegeben:

- RP der Gesamtration (Winter) ≤ 150 g/kg TS
- Ruminale Bilanz (OEB) ≤ 0 g/Tag
- APD Bilanz 100% des Bedarfs
- VEM (NEL nach holländischem System) der Gesamtration ≤ 900 /kg TS
- Krafffutteranteil ≤ 30 %

Da die Betriebe aus einem Gebiet mit Grasland betonter Fütterung kommen, bestehen die Winterrationen hauptsächlich aus Grassilage. Durch einen verringerten Düngereinsatz und spätere Nutzung wurde der RP-Gehalt der Grassilage gesenkt. Im Verlauf der 5 Beobachtungsjahre konnte in 12 genau analysierten Betrieben der RP-Gehalt der Ration von anfänglich 173 g auf 159 g und in der Grassilage von 173 g auf 146 g gesenkt werden. Die ruminale Proteinbilanz pro Kuh verbesserte sich von 529 g/Tag auf 234 g/Tag. Die berechnete N-Ausscheidung pro Kuh und Tag verringerte sich von 403 g/Tag auf 368 g/Tag und der durchschnittliche Milchwahstoffgehalt fiel von 23.2 mg/dl auf 21.4 mg/dl (siehe auch Abb. 27). Die Anpassungen in der Fütterung haben die Güllenzusammensetzung in die gewünschte Richtung verschoben mit einem höheren Anteil an organischem N und höherem C:N-Verhältnis, beides Merkmale, die sich günstig auf das Ammoniakverlustrisiko auswirken. Dieses Beispiel zeigt, dass Anpassungen in der Fütterungsstrategie den Betrieb als System beeinflussen und sich ein neues und vielleicht nachhaltigeres Gleichgewicht einpendelt.

Es ist nicht immer einfach zu beantworten, ob eine bestimmte Massnahme zu einer ressourcenschonenderen Produktion beiträgt. Bedingt durch die Interdependenz zwischen

Herde, Hofdünger, Boden und Futter können Emissionsfragen nur über ein einzelbetriebliches **Emissionsmodell**, das alle umweltrelevanten Emissionsformen und Ressourceninputs modellmässig erfasst, schlüssig beantwortet werden. Dazu gehören: CO₂, CH₄, NH₃, N₂O, NO₃⁻, P, Cu, Zn, Wasser und Energie. Ein ausgereiftes Modell existiert bereits für holländische Verhältnisse (Schils et al 2007, Abb. 56). Die gemischten Produktionsformen in der Schweiz bedingen einige Erweiterungen, um auch die Schweinehaltung oder weitere Produktionszweige einbeziehen zu können.

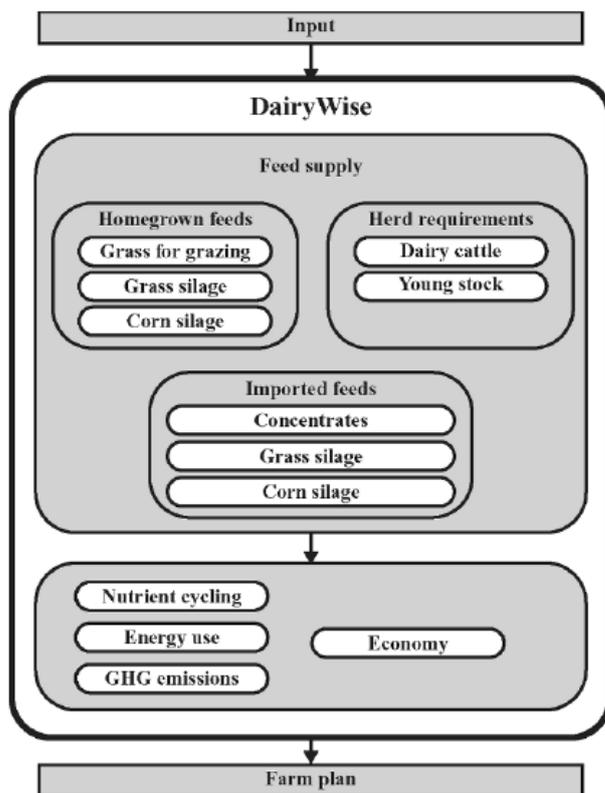


Abbildung 56. Modellierung eines Milchviehbetriebes mit allen relevanten Klimagasen und N-Emissionen (Schils et al 2007).

3. Schweizerische Fütterungsversuche und Evaluation der Schätzgleichungen

Produktionsbedingungen und verfolgte Milchproduktionsstrategien in ausländischen Milchviehgebieten unterscheiden sich von der schweizerischen Optik, die ihrerseits eine breite Palette an Produktionsformen umfasst. Von der ganzjährigen TMR-Fütterung in Hochleistungsherden bis zur low-input Weidemilch existieren in der Schweiz die verschiedensten Zwischenformen nebeneinander. Ausländische Versuchsergebnisse lassen sich nicht auf alle Situationen übertragen. Durch die meta-analytische Auswertung von schweizerischen Versuchen wurde das Ziel verfolgt, in der Literatur postulierte Beziehungen zwischen N-Input, N-Ausscheidungen und Indikatoren anhand von Schweizer Datensätzen zu überprüfen. Dazu wurden im Rahmen von Dissertationen (ETH) und Versuchen an Agroscope Posieux durchgeführte N-Bilanzversuche und Verzehrmessungen mit Milchkühen gezielt ausgewählt. Dahinter standen ganz unterschiedliche Fragestellungen, ohne immer einen direkten Bezug zu Emissionen zu haben. Die N-Bilanzdaten sind für die Ableitung von grundsätzlichen Beziehungen zwischen Fütterung, N-Umsatz und Leistung gut geeignet. Der Schwerpunkt wurde auf N-Input (Verzehr), Rationsmerkmale, N-Ausscheidungen in Menge und Ausscheidungsweg, und Milchwahnharnstoff gelegt. Wenn immer möglich sind Einzeltierdaten herangezogen worden. Aufgrund von methodischen Unterschieden zwischen den Versuchen und fehlenden Informationen konnten einzelne Datensätze nur in Teilbereichen berücksichtigt werden. Es hat sich erwiesen, dass der Milchwahnharnstoffgehalt nach IR-Methode auf Einzeltierbasis nicht mit der enzymatischen Methode gepoolt werden darf. Auf die Problematik der analytischen Methode wurde bereits hingewiesen (Kap. 2.3.5.). Die N-Ausscheidungen bei Weideversuchen können sich methodisch nicht auf die quantitative N-Bilanzmessung abstützen. Futtermittelverzehr, Kotmenge und N-Verdaulichkeit werden markergestützt geschätzt (n-Alkan Methode). Der Harn-N wurde dann als Differenzgrösse berechnet. Insgesamt sind 387 Datensätze ausgewertet worden, die wiederholte Messungen am gleichen Tier enthalten und im Zeitbereich 1989 bis 2010 abgeschlossen wurden. Rund die Hälfte davon stammt aus der Dissertation Mürger (1997). Dieser Datensatz bildet das Rückgrat der Auswertung. Es sind alle Schweizer Rassen (HF, RH, Si, BS) inklusive Jersey vertreten, die alle Laktationsstadien umfassen, so dass ein weites Spektrum an Tagesmilchleistungen von 1.9 kg bis 48.7 kg ECM abgedeckt ist. Bei den laktierenden Milchkühen standen etwas mehr Daten mit Sommerrationen (inklusive Weide) als Winterrationen zur Verfügung. Die Daten der Galkühe stammen alle aus der gleichen Dissertation (Mürger 1997), in der eine recht restriktive Fütterung angewendet wurde, was nicht als repräsentativ für Praxisverhältnisse anzusehen ist.

Für die Winterrationen wurden Heu, Grassilage, Maissilage, Maiswürfel, Zuckerrübenschnitzel als Grundfutterkomponenten verwendet. Der mittlere Krafffutteranteil beträgt 18.4 % (in der

TS). In den Sommerrationen beträgt der durchschnittliche Grünfutteranteil an der Gesamtration 77.3 % und der Krafffutteranteil 13.3 %. Der Rest besteht aus Beifutter in Form von Heu- oder Maissilage. Im Mittel wurden 2.7 kg TS Krafffutter verabreicht, wobei es auch viele Datensätze ohne Krafffutter gibt. Hingegen hat es keine Variante mit 100 % Grünfutter. Tabelle 12 fasst die Eckdaten zum N-Umsatz und Leistung zusammen. Die Variationsbreite geht aus den daran anschliessenden Abbildungen hervor.

Tabelle 12. Durchschnittliche NEL- und RP-Gehalt der Gesamtration, N-Umsatz und Leistung von Kühen aus schweizerischen Versuchsdaten mit N-Bilanzmessungen.

Gruppe	n	NEL MJ/kg TS	RP g/kg TS	N- Verzehr g/Tag	Kot-N g/Tag	Harn- N g/Tag	Harn- N/N- Exkr %	Milch kg ECM	MUC mg/dl
Galkühe	31	4.9	109	132.54	54.25	37.16	27.0	-	-
Milchkühe Winter	165	6.15	148.3	399.9	144.9	109.9	41.0	23.0	20.0
Milchkühe Sommer	191	6.61	182.6	515.6	143.7	214.0	58.54	26.6	30.5

Erwartungsgemäss beeinflusst der saisonale Unterschied in der Rationszusammensetzung den N-Umsatz. Gegenüber der Winterfütterung verdoppelt sich im Sommer die Harn-N-Ausscheidung bei gleichbleibender Kot-N-Menge, so dass der Harn-N-Anteil an den Gesamtausscheidungen im Mittel von 41 % im Winter auf 58.5 % im Sommer steigt. Dies bewirkt eine Erhöhung im Milchharnstoffgehalt.

Im Folgenden sind die wichtigsten bivariaten Beziehungen zwischen Ration, N-Umsatz und Milchharnstoff in Abbildungen dargestellt, die gesamthaft, nach Versuch oder nach Rationstyp aufgeschlüsselt sind. Wenn der Futtermittelverzehr bekannt ist, besteht die naheliegendste Abhängigkeit zwischen **N-Verzehr und N-Ausscheidungen** (Abb. 57). Über alle Versuche und Rationstypen gepoolt, nimmt die Kot-N-Ausscheidung abflachend mit der N-Aufnahme zu, während der Harn-N quadratisch ansteigt. Die Variabilität der Harn-N-Menge ist gegenüber der Kot-N-Menge grösser. Die Gesamt-N-Ausscheidung, die zwischen 100 und 650 g N/Tag variiert, lässt sich anhand einer linearen Regression mit hohem Bestimmtheitsmass schätzen. Die Reststreuung, die in einem Bereich von ± 50 g liegt, ist nicht zu unterschätzen. Die emissionsrelevante Harn-N-Menge variiert zwischen Versuchen (Abb. 57a) und Rationstypen (Abb. 57b). Bei Sommerrationen wird bei gleicher N-Aufnahme mehr Harn-N ausgeschieden und in einem grösseren Streubereich als mit Winterrationen. Die Variationsursachen sind in der Rationszusammensetzung und Nährstoffversorgung zu suchen.

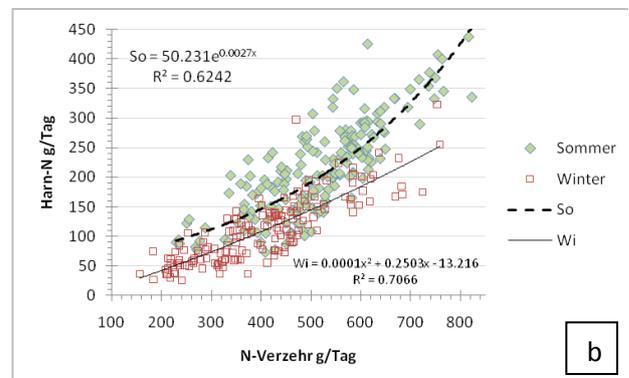
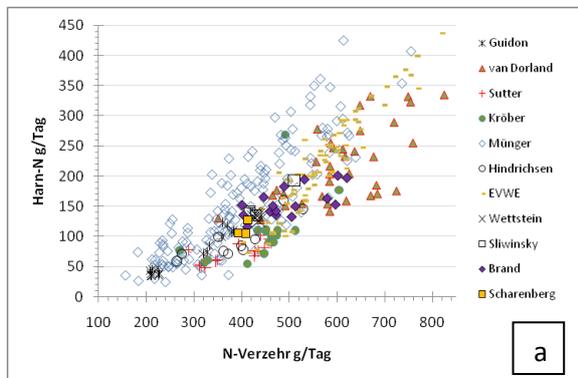
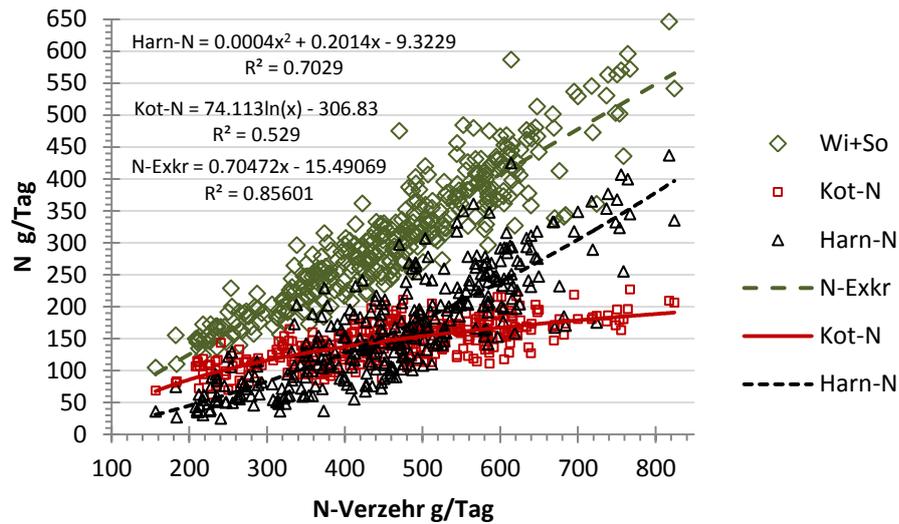


Abbildung 57. N-Verzehr und N-Ausscheidungen als Kot-N, Harn-N und Gesamtexkretion. Harn-N zusätzlich unterteilt nach Versuch (a) und Rationstyp (b).

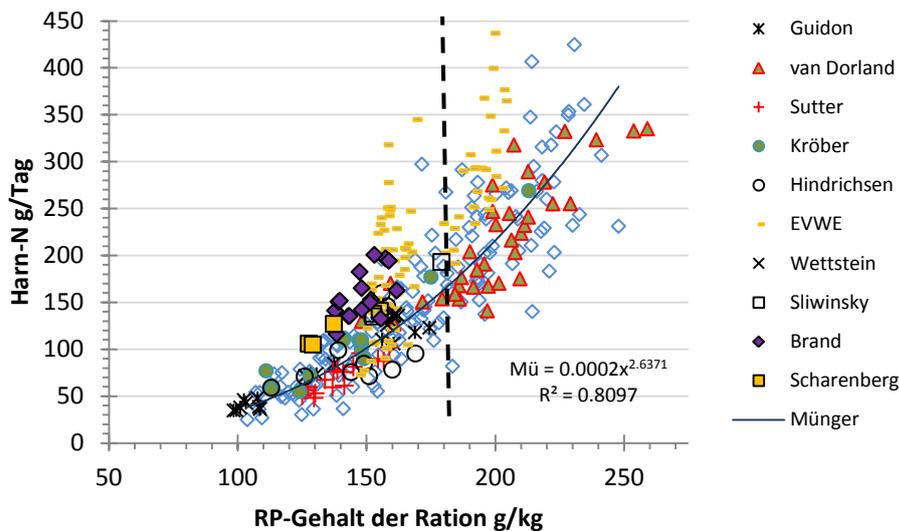


Abbildung 58. RP-Gehalt der Ration und Harn-N-Ausscheidung.

Von besonderem Interesse sind Schätzgleichungen, die auf Rationsmerkmalen und Milchzusammensetzung basieren, da diese einfacher zu erheben sind als der Futterverzehr. Unter den Rationsmerkmalen hat der **RP-Gehalt** der Gesamtration eine Beziehung zur Harn-N-Ausscheidung, nicht aber zum Kot-N. In den Versuchsrationen reichte der RP-Gehalt von

100 g/kg TS bis 260 g/kg TS (Abb.58). Mit zunehmendem Proteingehalt nimmt die Harn-N-Menge und Streuung zu. Oberhalb von 18 % RP ist die exponentielle Phase der Harn-N-Zunahme ersichtlich, die mehrheitlich durch Sommerrationen verursacht wird (Abb. 59a). Die Datenpunkte im Winter mit über 18 % RP in der Ration sind auf einen Versuch mit Kleesilagen zurückzuführen (van Dorland 2006). Es besteht eine negative Korrelation zwischen RP-Gehalt der Ration und der N-Effizienz (Abb. 59b).

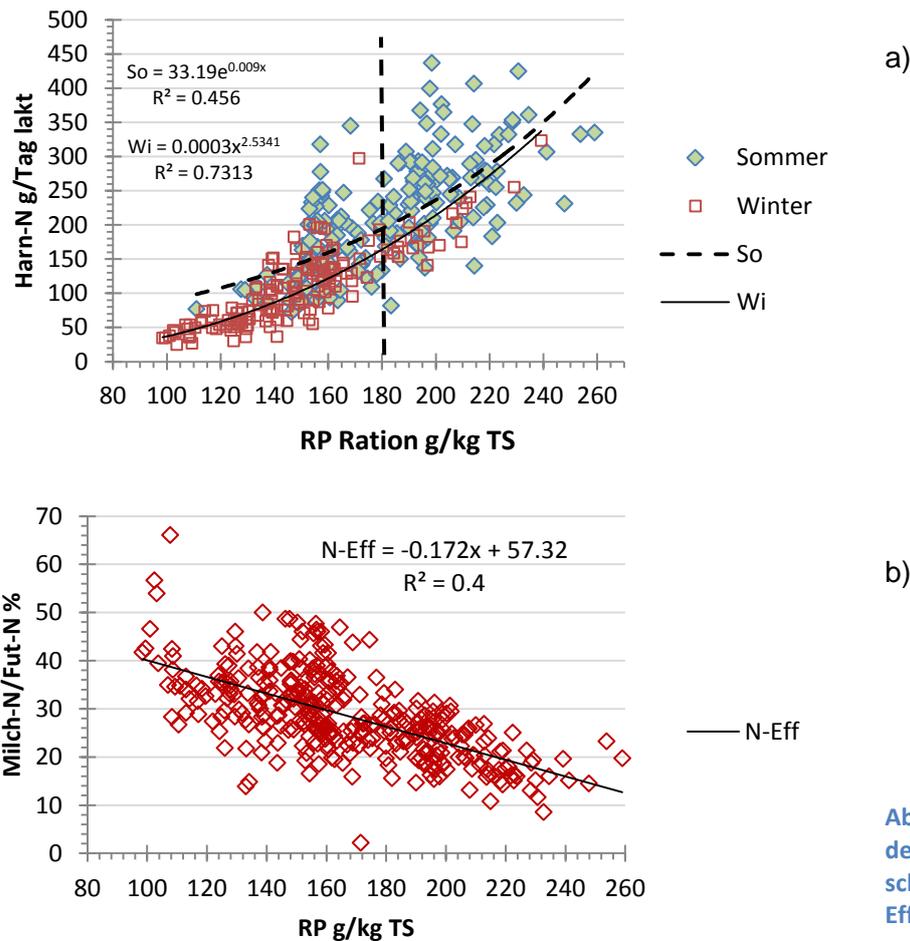


Abbildung 59. RP-Gehalt der Ration und Harn-N-Ausscheidung (a) und N-Effizienz (b, Milch-N/Fut-N).

Der RP-Gehalt der Ration genügt als alleinige Inputgrösse zur Schätzung der Harn-N-Menge nicht. Aufgrund der Interaktion des Protein- mit dem Energiestoffwechsel beim Wiederkäuer korrelieren Rationsmerkmale, die diese Beziehung von der Futterbewertung her zum Ausdruck bringen, mit der Harn-N-Menge. Dies trifft auf die summarischen Grössen **RP/NEL-** und **N/VOS-Verhältnis** der Ration zu (Abb. 60). Bei beiden Parametern nimmt die Harn-N-Menge mit grösser werdender Verhältniszahl, das heisst höherem Proteinanteil, exponentiell zu. Die grossen tierindividuellen Variationen weisen auf weitere, überlagernde Effekte hin. Die übliche Fütterungsempfehlung setzt als Unter- und Obergrenze für das RP/NEL-Verhältnis 20 bzw. 30 g/RP/MJ NEL fest. Gemäss Abbildung 60a wird bei 30 g RP/MJ NEL bereits viel Harn-N ausgeschieden, so dass als Obergrenze 25 g RP/MJ NEL im Sinne einer emissionsarmen

Fütterung empfohlen werden kann. Analog sollte das N/VOS-Verhältnis nicht über 40 g/kg steigen (Abb. 60b). Die Regressionen zur Schätzung des Harn-N aus RP/NEL oder N/VOS unterscheiden sich je nach Rationstyp. Bei Sommerrationen verlaufen die Regressionskurven auf einem höheren Niveau als bei Winterrationen (Abb. 60c, d). Wie beim RP-Gehalt der Ration lässt sich die Kot-N-Menge nicht aus dem RP/NEL- oder dem N/VOS-Verhältnis schätzen.

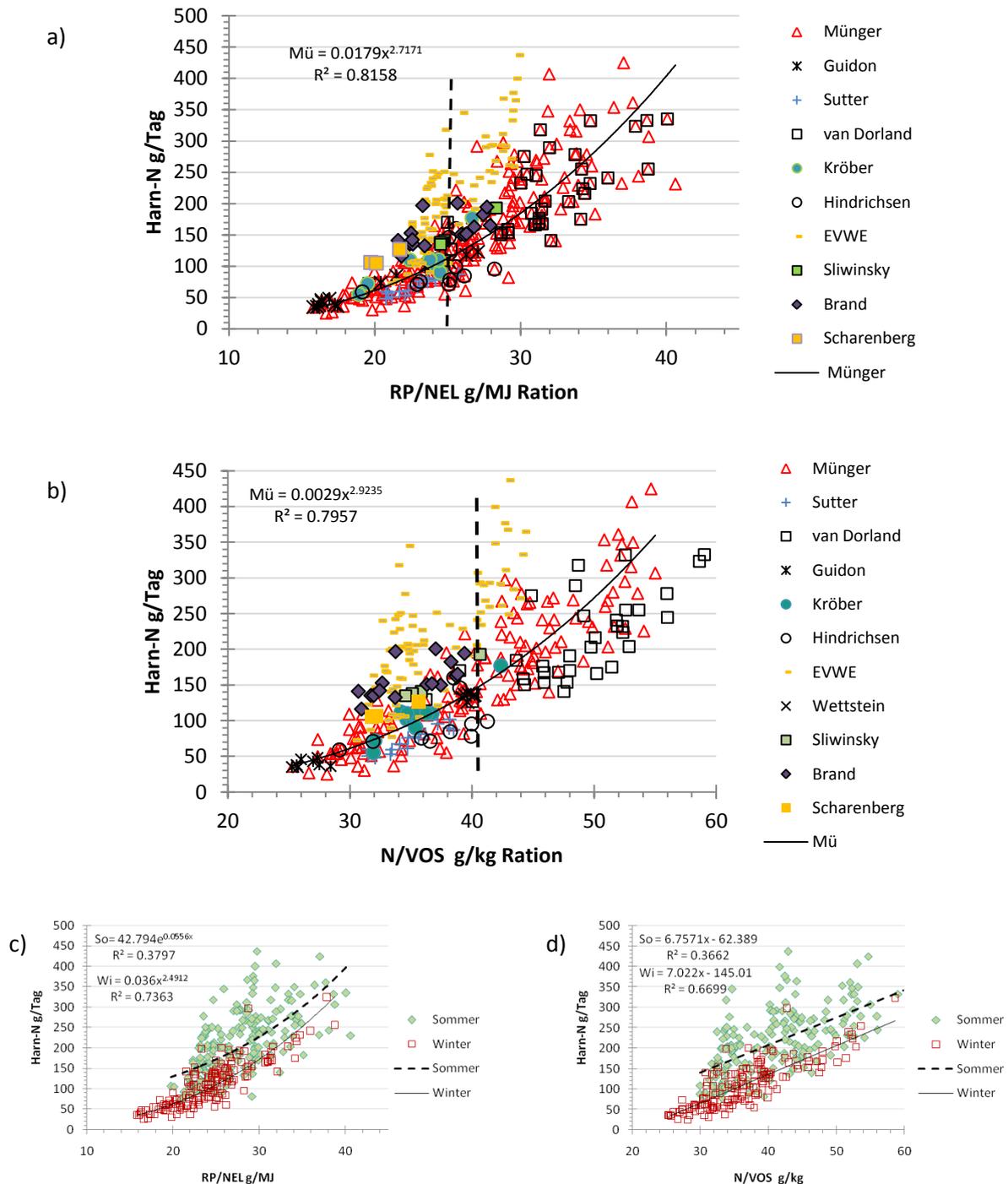


Abbildung 60. Harn-N-Ausscheidung und RP/NEL (a) bzw. N/VOS-Verhältnis (b) der Ration unterteilt nach Versuch und Rationstyp (c, d).

Wie mehrfach aufgezeigt, ist eine positive **ruminale Proteinbilanz (PMN-PME)** eine entscheidende Harnstoffquelle, falls die Imbalanz gross ist. Die Auswertung der Schweizer Datensätze bestätigt den Zusammenhang zwischen ruminaler Proteinbilanz und Harn-N-Menge (Abb. 61)

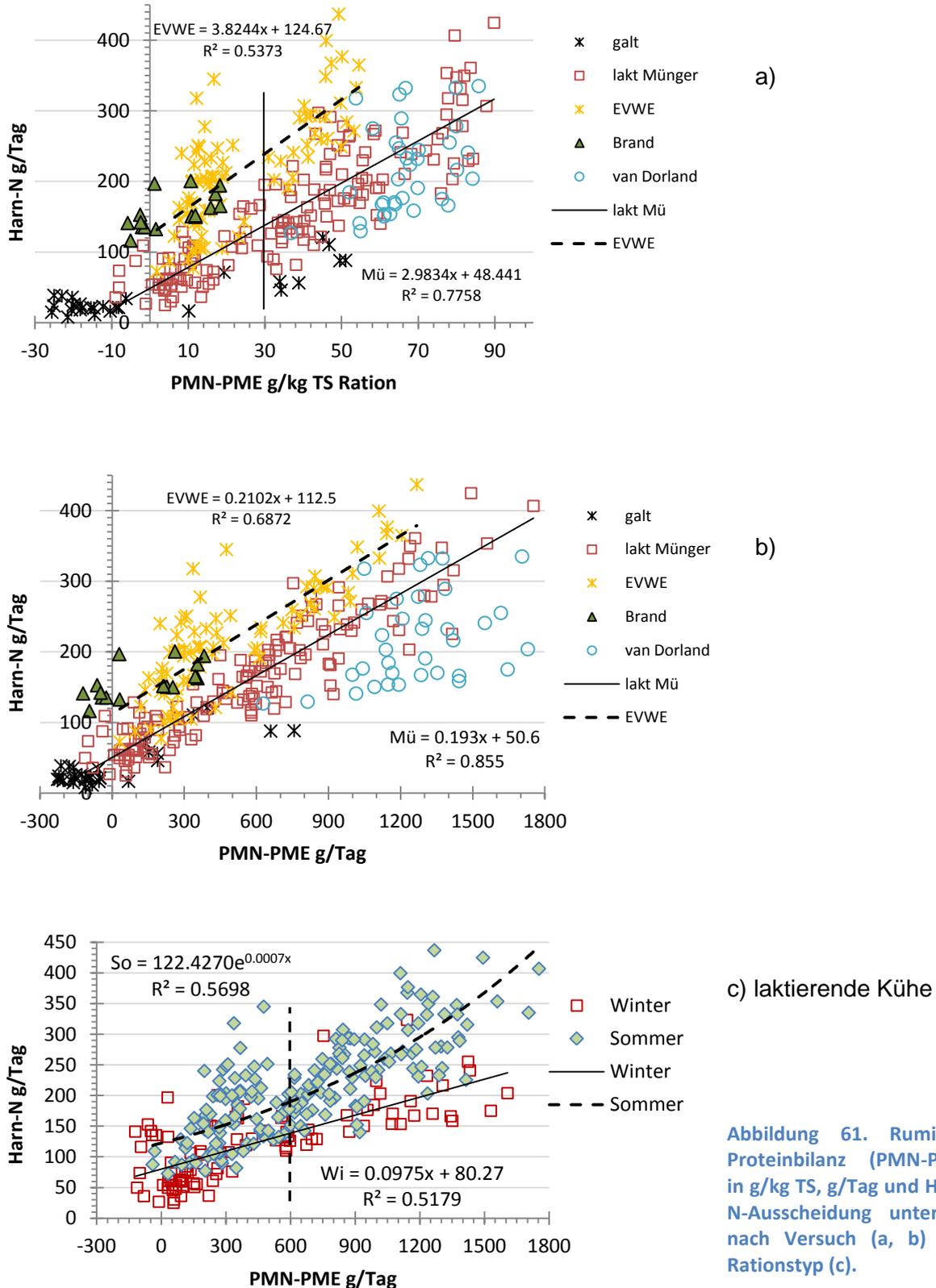


Abbildung 61. Ruminaler Proteinbilanz (PMN-PME) in g/kg TS, g/Tag und Harn-N-Ausscheidung unterteilt nach Versuch (a, b) und Rationstyp (c).

Es konnte nicht bei allen Datensätzen die ruminale Bilanz gerechnet werden, da benötigte Angaben zur Rationszusammensetzung nicht immer eruierbar waren. Bei ausgeglichener ruminaler Proteinbilanz ist mit einer Harn-N-Menge von 50 bis 200 g/Tag zu rechnen, die sich mehr als verdoppelt, wenn das Überangebot an pansenverfügbarem N nicht mehr Schritt hält mit der energieabhängigen Umwandlung in Mikrobenprotein ($PMN-PME > 0$). Innerhalb einzelner Versuche ist die Beziehung zwischen ruminaler Proteinbilanz und Harn-N recht eng. Im Datensatz von Münger (1998) wird die Variation in der Harn-N-Menge zu über 80 % durch die Variation in der ruminalen Bilanz erklärt (Abb. 61b). Aber es ergeben sich Niveauunterschiede zwischen Versuchen (Abb. 61a,b), so dass für eine gegebene Harn-N-Menge ein weiter Bereich an ruminaler Bilanz in Frage kommt. In der Abbildung sind die Daten der Galtkühe mitenthalten, um unter anderem den Einfluss der Milchleistung abzuschätzen. Trockenstehende Kühe können in Bezug auf die Harn-N-Menge durchaus in den Bereich der laktierende Kühe kommen. Wo eine sinnvolle Grenze für eine emissionsarme Fütterung zu ziehen wäre, ist wegen des weiten Streubereiches eine Ermessensfrage. Oberhalb einer RNB_{CH} von 600 g/Tag steigt der Harn-N besonders bei Sommerrationen steiler an (Abb. 61c). Diese Größenordnung hat im Versuch EVWE genügt, um bei weidenden Hochleistungskühe die APD-Bilanz in den positiven Bereich zu bringen (Abb. 42). Es fällt auf, dass auch mit Winterrationen hohe ruminale Imbalancen auftreten. Im vorliegenden Datensatz trifft das auf den Versuch von van Dorland (2006) zu, in dem mit proteinreichen Gras- und Kleesilagen gearbeitet wurde. Die Daten deuten in der Beziehung zwischen ruminaler Bilanz und Harn-N einen grundsätzlichen Unterschied zwischen Winter- und Sommerrationen an (Abb. 61c). Dies müsste mit weiteren experimentellen Daten noch erhärtet werden.

Die **Rationsmerkmale RP g/kg TS, RP/NEL, N/VOS, PMN-PME g/kg TS und g/Tag** sind alle **positiv mit der Harn-N-Menge korreliert** ohne einen wesentlichen Einfluss auf den Kot-N auszuüben. Die Schätzung der Harn-N-Menge aus den einzelnen Rationsmerkmalen quer durch alle Datensätze weist Bestimmtheitsmasse (R^2) von 0.52-0.74 für Winterrationen und von 0.35-0.57 für Sommerrationen auf, bei allerdings grossen Reststreuungen. Im Datensatz *Münger* (1997) werden durchwegs höhere Bestimmtheitsmasse von 0.78-0.86 erreicht. Zu bedenken ist, dass bei der Berechnung der ruminalen Bilanz und des NEL-Wertes die vOS und die aRP als wichtige Größen in die Formeln einfließen und dadurch gewisse Unzulänglichkeiten des Futterbewertungssystems (Annahme von konstanten Wirkungsgraden und Syntheseraten) als eine der Streuungsursachen in Betracht zu ziehen sind.

Wie aus der Literaturrecherche dokumentiert (Kapitel 2.2, 2.3), widerspiegelt der **Milchharnstoffgehalt** den Harnstoff-Turnover der Milchkuh. Der Zusammenhang zwischen Rationsmerkmalen, ruminaler Proteinbilanz, Harn-N und Milchharnstoff kann mit den Schweizer Daten bestätigt werden (Abb. 62, 63, 64). Leider konnte nicht der ganze Datensatz verwendet werden, da nicht alle Milchharnstoffgehalte enzymatisch analysiert wurden. Die

Beziehung zwischen **MUC** und **RP-Gehalt**, **RP/NEL-** und **N/VOS-Verhältnis** der Ration ist eng und linearer Natur (Abb. 62). Einzelne Versuche scheren aus der Grundtendenz zum Teil aus. Die positiven Korrelationen bestehen unabhängig vom Rationstyp, so dass nicht zwischen Winter- und Sommerfütterung unterschieden werden muss.

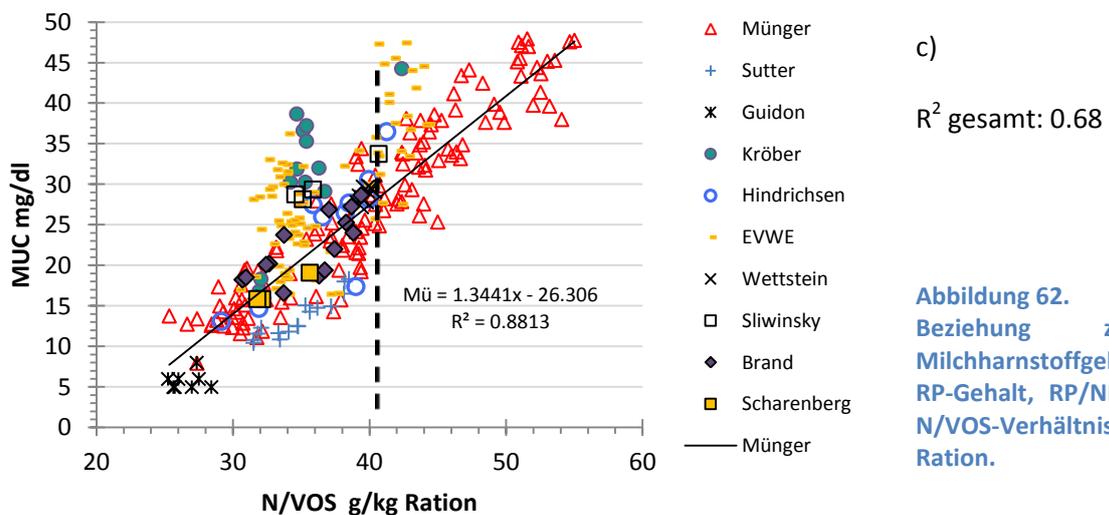
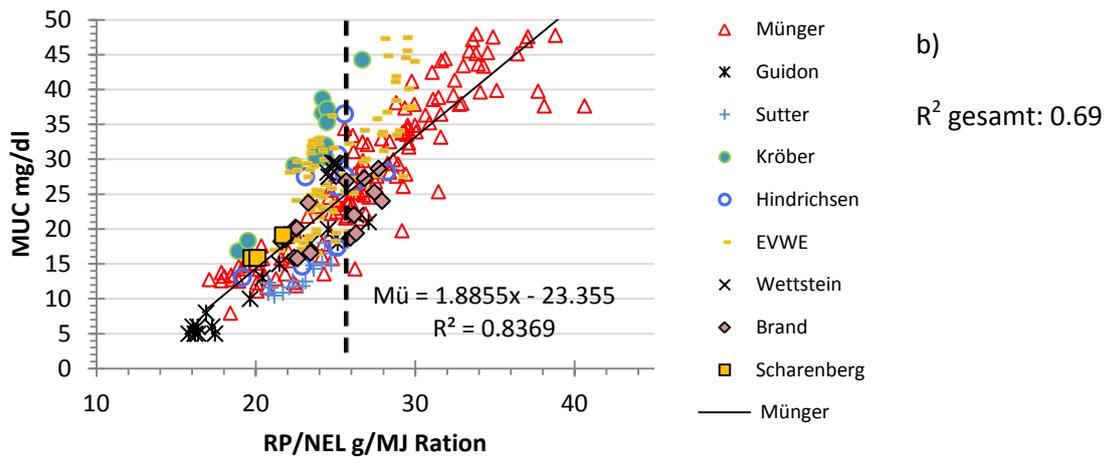
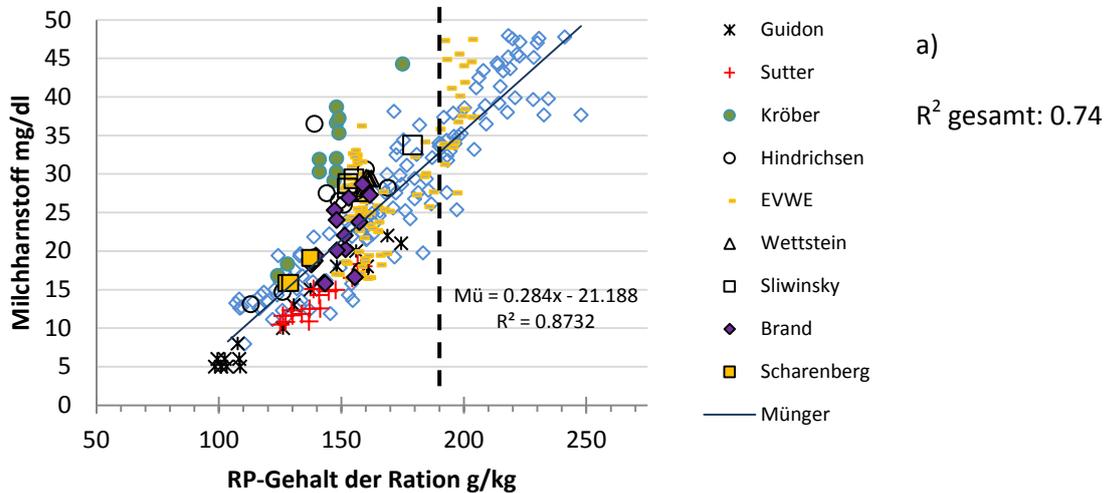


Abbildung 62. Beziehung zwischen Milchharnstoffgehalt und RP-Gehalt, RP/NEL-, und N/VOS-Verhältnis der Ration.

Werden die postulierten Obergrenzen einer emissionsarmen Fütterung (gemäss Kap. 2.4.1.) in die Abbildungen 62 und 63 eingetragen, resultiert im Mittel ein Milchharnstoffgehalt von 25-30 mg/dl. Ein Milchharnstoffgehalt unter 15 mg/dl ist als ein Indiz für ein Proteindefizit zu werten. Darunter wird die ruminale Proteinbilanz zunehmend negativ (Abb. 63).

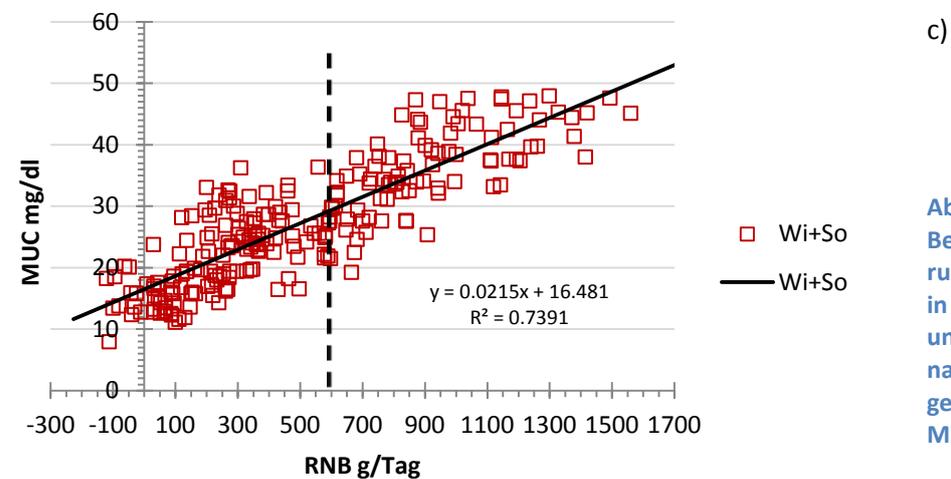
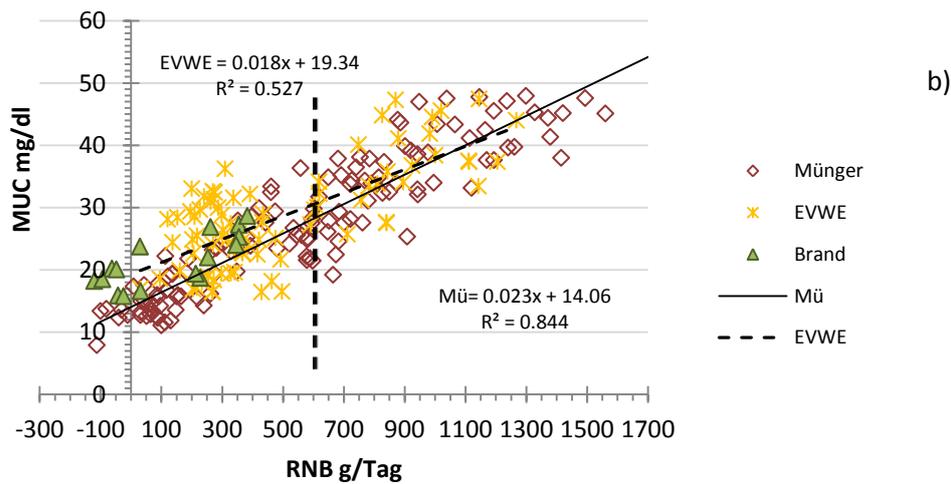
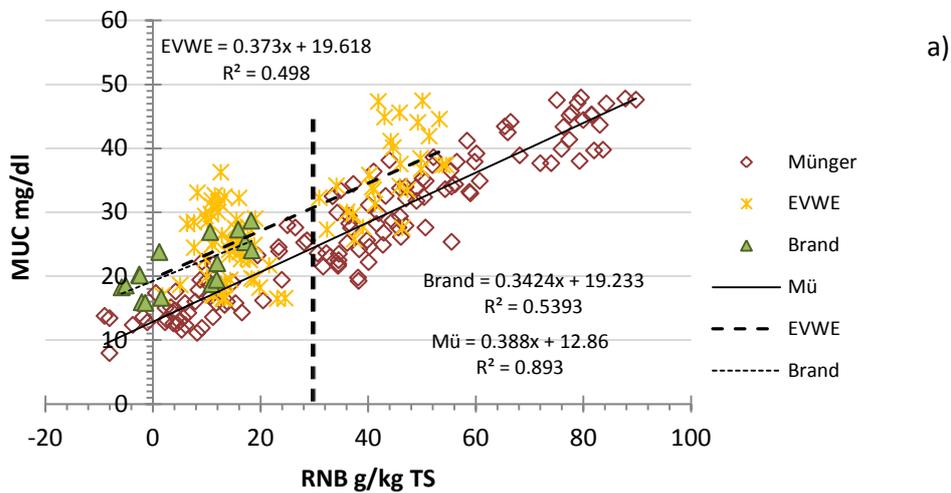


Abbildung 63. Beziehung zwischen ruminaler Proteinbilanz in g/kg TS der Ration (a) und g/Tag unterteilt nach Versuch (b) oder gepoolt (c) und Milchharnstoff.

Eine zunehmende ruminale **Imbalanz**, **PMN-PME > 0**, sowohl ausgedrückt in g/kg TS der Ration als auch als g/Tag bewirkt ansteigende Milchharnstoffgehalte (Abb. 63). Die Regressionsgeraden einzelner Datensätze verlaufen weitgehend parallel aber auf unterschiedlichen Niveaus. Bei einer ruminale Proteinbilanz von 0-100 g/Tag (ausgeglichen) liegen die beobachteten Milchharnstoffgehalte zwischen 12 und 24 mg/dl. Insgesamt wird ein hohes Bestimmtheitsmass von 0.74 erreicht (Abb. 63c).

Die Ableitung der ruminale Proteinbilanz ist bei komplexen Rationen schon recht aufwendig und die qualitative Zusammensetzung der Ration (RP/NEL, N/VOS) setzt einige Annahmen zum Futterverzehr voraus. Die direkte **Schätzung des Harn-N aus dem Milchharnstoff** würde vieles vereinfachen. Der direkte Zusammenhang ist unbestreitbar nachgewiesen und mehrere Schätzgleichungen wurden publiziert (Tab. 7). Die Gegenüberstellung der Regressionen belegt hingegen Unterschiede in den Kurvenverläufen (Steigung und Niveau, Abb. 15) und dies zeigt sich auch in den Schweizer Datensätzen (Abb. 64a). Je nach Datensatz ist die Beziehung nicht linear sondern eine Potenzfunktion mit Bestimmtheitsmassen zwischen 0.63-0.82. Mit steigendem Milchharnstoffgehalt nimmt die Schätzgenauigkeit zu. Bei gleichem Milchharnstoffgehalt ergeben sich zwischen Versuchen im Mittel Niveauunterschiede von 50 g Harn-N/Tag. Wiederum scheren einzelne Datensätze aus der Reihe. Dabei ist ein Rasseneinfluss nicht auszuschliessen. Im Versuch von Kröber (2000) standen ausschliesslich Braunviehkühe, die im Verhältnis zur Harn-N-Menge einen unerwartet hohen Milchharnstoffgehalt aufwiesen. Die Aufteilung der Datensätze nach Rationstyp verschiebt die Gleichung zur Schätzung der Harn-N-Menge aus dem Milchharnstoff bei Sommerationen auf ein höheres Niveau (Abb. 64b), was mit dem höheren K-Gehalt des Grünfutters zusammenhängen könnte (siehe Kap. 2.2). Über alle Datensätze gepoolt, erklärt die Variation im Milchharnstoffgehalt 67 % der Varianz in der Harn-N-Menge und 56 % der Varianz in den Gesamt-N-Ausscheidungen (Abb. 64c). Die Abweichungen zur Schätzkurve können 100 g Harn-N übersteigen. Da der Kot-N nicht mit dem Milchharnstoff korreliert und der Kot-N 30 % bis 70 % der N-Exkretion ausmachen kann, erstaunt es weiter nicht, dass die Schätzung der Gesamt-N-Ausscheidungen aus dem Milchharnstoff ein schlechteres Bestimmtheitsmass ergibt. In diesem Fall bringen multivariate Schätzgleichungen eine bessere Genauigkeit.

Eine naheliegende zusätzliche Inputgrösse ist die Milchleistung. Der Bezug der **N-Exkretion/kg ECM** zeigt eine lineare Beziehung zum RP/NEL-Verhältnis der Ration, die für die Leistungsgruppe 20-30 kg ECM – entspricht weitgehend der Laktationsmitte – ein Bestimmtheitsmass von 0.67 aufweist (Abb. 65).

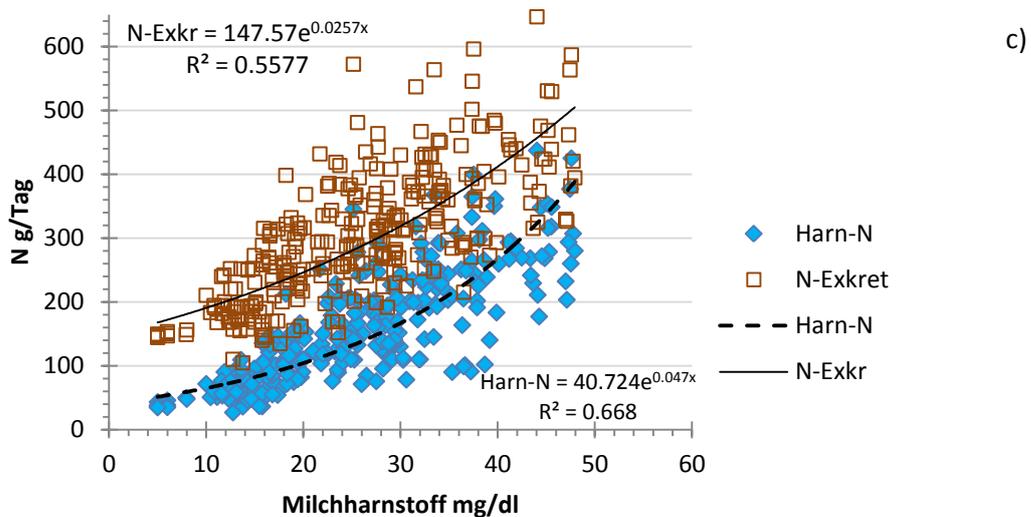
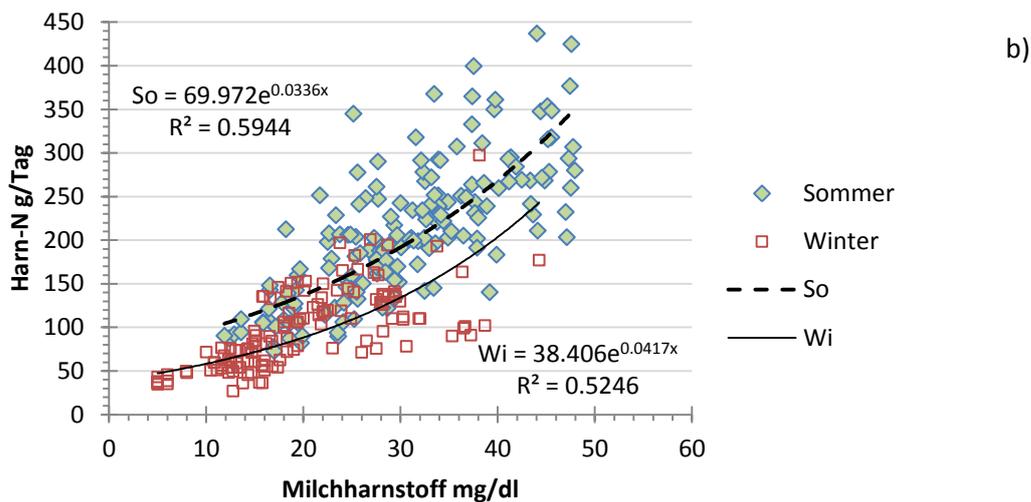
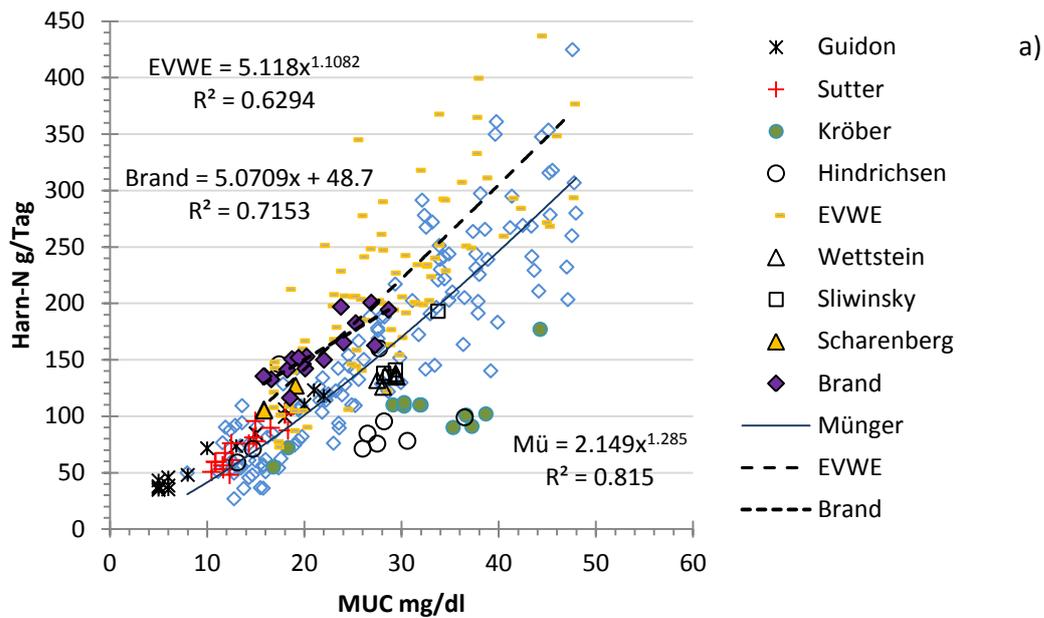


Abbildung 64. Schätzung der Harn-N-Menge und der gesamten N-Exkretion aus dem Milchharnstoff unterteilt nach Versuch (a), Rationstyp (b) oder gepoolt (c).

Bei einem RP/NEL-Verhältnis von 25 g/MJ werden im Mittel 11.65 g N/kg ECM ausgeschieden. Dieser Wert entspricht ziemlich exakt dem von Reijs (2007) abgeleiteten Wert, der bei bedarfsgerechter Proteinversorgung und ausgeglichener ruminaler Bilanz zu erwarten ist. Bei einem Verhältnis von 40 g RP/MJ NEL verdoppelt sich die N-Ausscheidung. Ende der Laktation und während der Sommerfütterung kann die auf die Milchleistung bezogene N-Ausscheidung auf sehr hohe Werte von über 35 g N/kg ECM ansteigen. In der Leistungsgruppe >30 kg ECM sind vorwiegend Kühe der Startphase vertreten. Die Beziehung zwischen dem RP/NEL-Verhältnis und der pro kg ECM ausgeschiedenen N-Menge ist weniger eng.

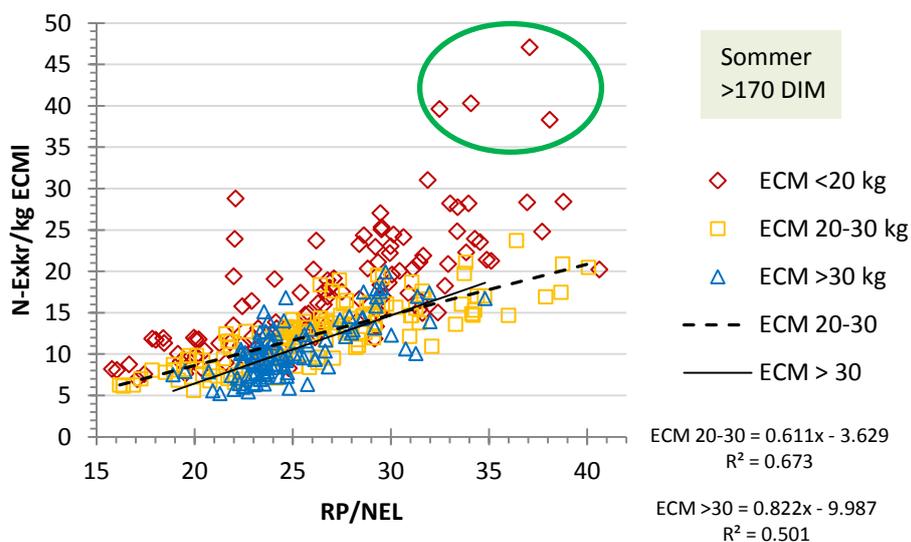


Abbildung 65. N-Ausscheidung pro kg ECM in Abhängigkeit von der Leistungsgruppe und vom RP/NEL-Verhältnis

Weitere multivariate Ansätze werden in einer zusätzlichen Auswertung getestet. Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, alle Möglichkeiten an dieser Stelle zu diskutieren.

4. Modellrechnungen zu N-Ausscheidungen und NH₃-Emissionen

4.1. N-Ausscheidungen

Die in Versuchen aufgezeigten Effekte von Fütterungsmassnahmen sind aufgrund der häufig verwendeten cross-over Versuchsanordnungen zeitlich beschränkt. Die Messung der Auswirkungen auf Verzehr, Leistung und Ausscheidungen über einen ganzen Laktationszyklus ist mit grossem Aufwand verbunden. Als Ersatz bzw. Annäherung kann eine systematische Anwendung von Modellrechnungen auf verschiedene Produktions- oder Fütterungssysteme brauchbare Anhaltspunkte für die Abschätzung der Auswirkungen liefern. Mit einem ALP internen Jahresrationenprogramm (Münger 2010, persönliche Mitteilung) können Winter- und Sommerrationen definiert werden. Die Laktationsleistung, Laktationsnummer, Abkalbedatum, Lebendgewicht, Winter- und Sommerfütterungsbeginn, und Krafftutertyp können variiert werden. Im Modell sind die Nährstoffgehalte und Nährwerte der Futtermitteldatenbank, Laktationskurven, die Bedarfsnormen und das Verzehrmodell der *Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer* hinterlegt

(www.agroscope.admin.ch/futtermitteldatenbank/04834/index.html?lang=de).

Bei Laktationsbeginn ist während 84 Tagen ein Energiedefizit und während 42 Tagen ein APD-Defizit als Körperreserveabbau eingerechnet, was im Verlaufe der Laktation in Form einer Bedarfskorrektur wieder angerechnet wird. Die N-Ausscheidungen werden vereinfacht als N-Aufnahme – Milch-N definiert, was eine N-Bilanz von 0 unterstellt. Die Ergebnisse werden in 7-Tage Intervallen berechnet und für die Winter- und Sommerfütterung und die ganze Laktation inklusive Galtphase aufaddiert. Die Verläufe zu Leistung, Verzehr (Grundfutter und Krafftutter), N-Bilanz, NEL-Bilanz und Milchproduktionspotenzial der Grundration sind als Grafiken verfügbar.

Für die Fragestellungen der vorliegenden Studie hat es Sinn gemacht, einige Erweiterungen im Grundmodell einzubauen. Einerseits wurde die ruminale Bilanz (PMN – PME, g/kg TS) als Futtermerkmal integriert. Andererseits wurden die N-Ausscheidungen in Kot-N und Harn-N aufgeschlüsselt. Dazu wurden die in dieser Arbeit aus Schweizer Datensätzen abgeleiteten Regressionen der fäkalen N-Verdaulichkeit von Winter- und Sommerrationen in Abhängigkeit vom RP-Gehalt der Gesamtration (Kap. 2.2, Abb. 13) ins Modell eingebaut. Da die N-Aufnahme und der RP-Gehalt der modellierten Ration bekannt sind, berechnet sich der Kot-N aus dem Futterverzehr und der N-Verdaulichkeit (vN) und der Harn-N ergibt sich als Differenzgrösse unter der Annahme einer N-Bilanz von 0 während der Laktation. Für die Galtphase wurde ein N-Ansatz von 15 g/Tag (2 Wochen) bzw. 20 g/Tag (6 Wochen) veranschlagt. Diese 1.05 kg N entsprechen der N-Menge, die ein neugeborenes Kalb ausmacht. Die Gleichungen können wie folgt zusammengefasst werden:

$$\text{Kot-N g/Tag} = \text{Futter-N (g/Tag)} * (1-vN)$$

$$vN \text{ Winter} = -0.0000099 \cdot x^2 + 0.0051468 \cdot x + 0.0862421; \quad x = \text{RP g/kg TS}$$

$$vN \text{ Sommer} = -0.0000084 \cdot x^2 + 0.0044019 \cdot x + 0.2010567$$

$$\text{Harn-N g/Tag} = \text{Futter-N (g/Tag)} - \text{Milch-N (g/Tag)} - \text{Kot-N (g/Tag)}$$

Für die Berechnung des Milch-N ist ein Proteingehalt von 32 g/kg festgelegt worden, was einem N-Gehalt der Milch von 0.5016 % entspricht. Die grundsätzliche Vorgehensweise entspricht der von Peyraud (2008) angewandten Methode, allerdings mit zwei Unterschieden. Peyraud verwendet für Milch-N einen Wert von 0.53 %, was bei einer Laktationsleistung von rund 7000 kg im Vergleich zu unserer Berechnung einen Unterschied von 2 kg N ausmacht, welche die N-Gesamtausscheidung aber um weniger als 2% beeinflusst (vergleiche Tab. 14). Der zweite Unterschied betrifft den Kot-N. In der Berechnung von Peyraud wird ein konstanter Wert von 7.2 g Kot-N/kg Futterverzehr_{TS} benutzt. Im Vergleich dazu zeigt die Auswertung der Schweizer Datensätze aus N-Bilanzversuchen ein generell höheres Niveau und eine erhebliche Streuung (Abb. 66), weshalb der Kot-N in der vorliegenden Studie über die Verdaulichkeit des N abgeleitet wird.

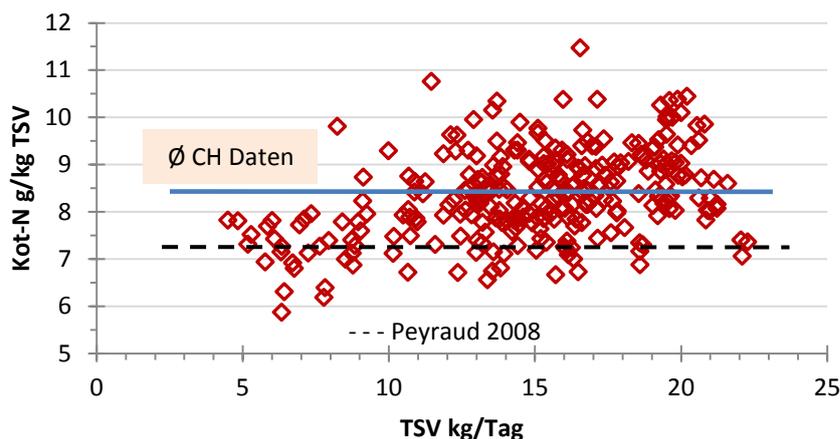


Abbildung 66. Kot-N, der pro kg Trockensubstanzverzehr ausgeschieden wird (Auswertung Schweizer N-Bilanzversuche)

Da für die Laktationsphase eine N-Bilanz von 0 angenommen wird, werden zu Laktationsbeginn die Harn-N-Ausscheidungen etwas unterschätzt und zu Laktationsende etwas überschätzt. Für die Jahresbilanz dürfte sich dies ausgleichen. Die Verbesserung der punktuellen Genauigkeit müsste an eine modellierte Gewichtskurve gekoppelt werden, um sowohl Wachstum wie Körperreserveabbau und -aufbau zu erfassen. Eine weitere Differenzierung des Modells wäre im Bereich der Sommerfütterung wünschenswert, um Weidesituationen und TMR-Fütterung besser erfassen zu können. Dies bedingt Anpassungen beim Bedarf, beim Weideverzehr in Abhängigkeit von der Ergänzungsfütterung (Modellierung von Substitutionsraten) und Temperatur (Hitzedepression) sowie Verzehr- und Milchleistungskorrekturen bei TMR. Aus Sicht der Grünfütterzusammensetzung wäre eine

zusätzliche Unterteilung in Frühling, Hochsommer und Herbst sinnvoll, um der saisonalen Variation Rechnung zu tragen.

Trotz obiger Einschränkungen lassen sich Fütterungsstrategien und Ausscheidungsmuster mit dem erweiterten Jahresrationenprogramm simulieren und quantitativ interpretieren. Dazu wurden 12 Varianten durchgerechnet, in denen die Winter- und Sommerrationen und der Abkalbezeitpunkt (Oktober und Februar) variiert wurden (Tab. 13).

Tabelle 13. Übersicht der modellierten Fütterungsstrategien

Szenarien	Var	Abkalbung	Milch Leistung	Winterration	RP-Gehalt Grünfutter	Beifütterung Sommer
Nicht-silo	1	20. Okt.	7000	Dürrfutter 85 % Futterrüben 15 %	17.6 %	keine
	2				21 %	Dürrfutter 10 %
	2a			Dürrfutter 85 % Maiswürfel 15 %		Maiswürfel 10 %
	2b			3	Dürrfutter 85 % Futterrüben 15 %	24.5 %
Nicht-silo, maximale Vollweide	10	20. Feb.		Dürrfutter 85 % Futterrüben 15 %	24.5 %	Krafftutter (EK) 2 Mt
Silobetriebe Grasland	4	20. Okt.		Dürrfutter 50 %	21 %	keine
	5			Grassilage 50 %		Rübenschnitzel 10%
Silobetriebe mit Mais	6	20. Feb	10000	Maissilage 40 %	21 %	Maissilage 15 %
	7			Grassilage 40 %		
	8	Dürrfutter 20 %	Maissilage 40 %			
	9	20. Okt.	7000	TMR (MS, GS, DF, Rüben)	Dürrfutter 20 %	

Die Winterfütterung beginnt generell am 10. November und endet am 10. April, was eine Winterfütterungsdauer von 154 Tagen ergibt. Die Winterrationen sind ohne oder mit Silage und ohne oder mit Maisprodukten zusammengestellt. Die Sommerrationen variieren in der Art der Grünfütterergänzung und der gewählten Proteinstufen des Grünfutters: 17.6 % (moderat), 21 % (Mittel) und 24.5 % RP (hoch). Das moderate Niveau repräsentiert Biobedingungen (Schori 2010), Grasfütterung im Stall oder extensivere Bergfutter. Das mittlere Niveau wird unter Vollweidebedingungen erreicht (Piccand et al 2011, Münger 2008, 2009) und das hohe Niveau ist bei intensiver Kurzrasenweide belegt (Frey und Thomet 2011). Proteingehalte im Grünfutter unter 15 % konnten in Versuchen beobachtet werden. Die effektive Verbreitung von tiefen Proteingehalten in Praxisbetrieben kann nur über eine Erhebung beantwortet werden. Die Bandbreite der gewählten Modellvarianten reicht von einer maisbetonten, ganzjährigen TMR-Fütterung (Variante 9) bis zu einer Vollweidestrategie mit Frühlingsabkalbung und sehr hohem Proteingehalt im Grünfutter (Variante 10). Mit einer Ausnahme wurde von einer

Laktationsleistung von 7000 kg ausgegangen. Für trockenstehende Kühe wurde im Sommer eine Extensoweide und im Winter Extensoheu gewählt.

Bei **Herbstabkalbung** ist die Kraffutterzuteilung nahezu auf die Winterfütterungsperiode beschränkt. Ohne Ergänzungsfütterung hängt im Sommer die Rationsqualität einzig von der Grünfütterungsqualität ab, die für Kühe der zweiten Laktationshälfte den Bedarf an Energie und vorab an Protein bei weitem deckt (Variante 4, Abb. 67a).

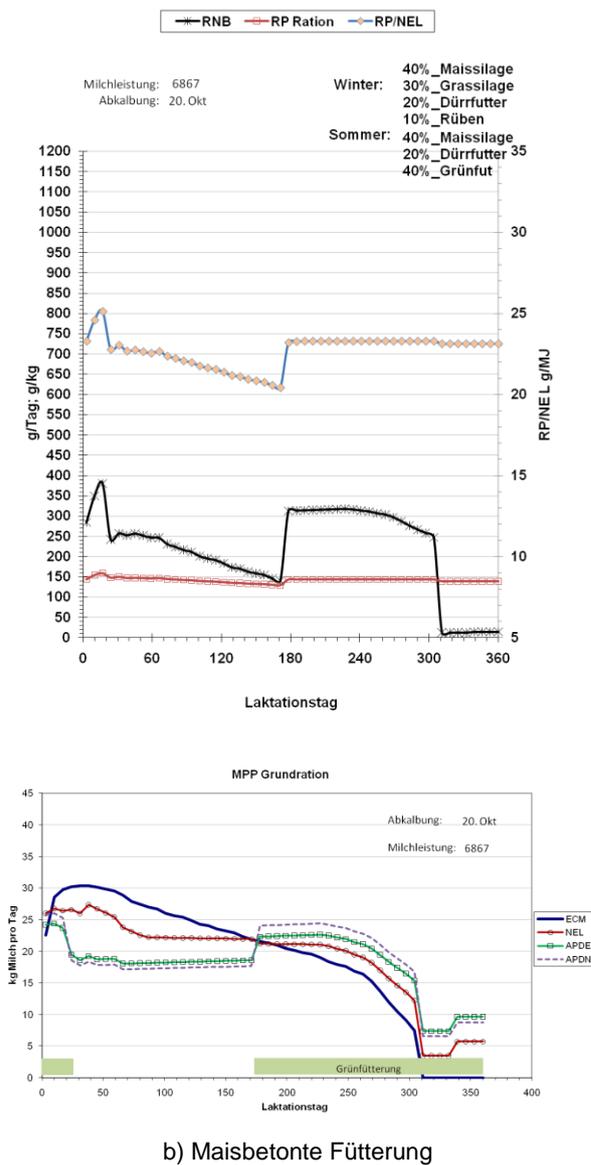
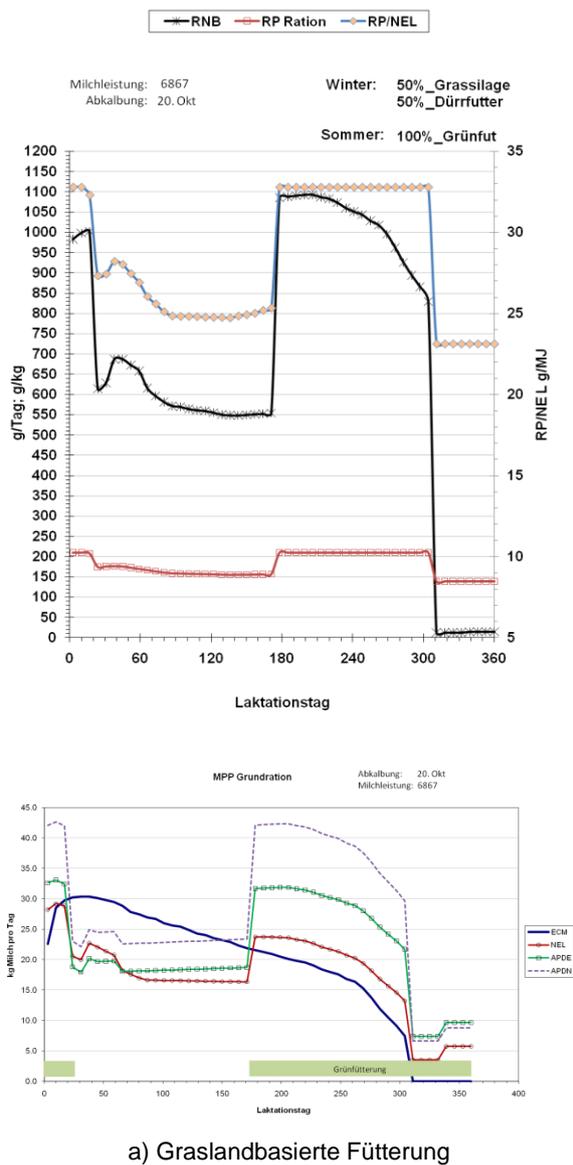


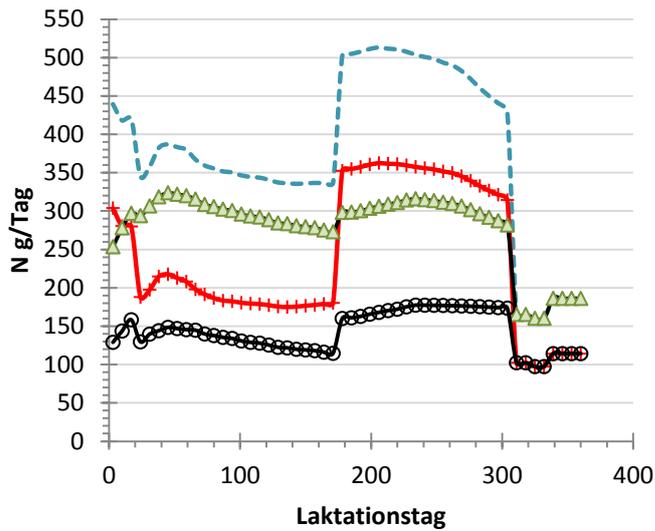
Abbildung 67. Modellierte Rationsmerkmale und Milchproduktionspotenziale im Laktationsverlauf bei graslandbasierter (Variante 4) oder maisbetonter Fütterung (Variante 9 TMR).

In der graslandbasierten Variante 4 weist bereits die Grundration im Winter, bestehend aus Dürrfutter und Grassilage, und ausgeprägt im Sommer ein Ungleichgewicht zwischen Protein und Energie auf, was sich wegen fehlender Ergänzungsfütterung in einer stark positiven ruminalen Proteinbilanz ausdrückt. Zusammen mit der Proteinübersversorgung führt die

Imbalanz bei **graslandbasierter Fütterung** vorab im Sommer zu hohen Harn-N-Ausscheidungen (Abb. 68a) und bei Stallfütterung zu potenziell hohen Ammoniakemissionen. Im Vergleich dazu bewirkt die **maisbetonte** Fütterung eine ausgeglichenerere ruminale Proteinbilanz und Proteinversorgung über das ganze Jahr. Die N-Ausscheidungen verlaufen auf einem tieferen Niveau mit einer wesentlich geringeren Harn-N-Menge im Sommer (Abb. 68b), die von 58.4 kg N bei graslandbasierter Fütterung auf 31.9 kg gedrückt wird (-45.4 %). Der Harn-N-Anteil an den N-Ausscheidungen verschiebt sich von 63.3% auf 51.2 % (Tab. 14). Der RP-Gehalt der Jahresration liegt mit 14.2 % deutlich unter den 18.1 % RP bei Grasland betonter Fütterung. Die N-Effizienz kann mit maisbetonter Fütterung von 19.9 % auf 25.1 % angehoben werden, obwohl der Kraftfuttereinsatz tiefer ist (Tab. 14).

Eine TMR-Strategie ist nicht für alle machbar und auch nicht für alle anzustreben. Aus verschiedenen Gründen (Produktionskosten, Image, Topografie) wird bewusst auf die Grasland betonte Fütterung gesetzt. Diese ist mit emissionsmindernden Massnahmen zu koppeln, um sparsam mit der Ressource N umzugehen. Zu bedenken ist, dass jede Ergänzungsfütterung zu Grünfutter eine mehr oder weniger grosse Verdrängungswirkung hat, was einer maximalen Grünfutteraufnahme entgegenwirkt. Zudem besteht für Kühe der zweiten Laktationshälfte kein Energie- oder Proteinbedarf, der mit zusätzlichem Kraftfutter zu decken wäre, aussergewöhnliche Witterungsverhältnisse ausgeschlossen. Die nicht leistungsbezogene **Beifütterung im Sommer** hat in erster Linie die Aufgabe, den Proteinüberhang im Grünfutter auszubalancieren und je nach Saison Faserstruktur zu liefern. Dafür eignen sich energiereiche Komponenten mit negativer ruminale Proteinbilanz und genügendem Rohfasergehalt (bzw. Zellwandkohlenhydrate). Im Modell wurden Varianten mit **Dürrfutter, Maissilage, Ganzpflanzenmaiswürfel** und getrockneten **Zuckerrübenschnitzeln** in Anteilen von 10 % bzw bei Maissilage mit einem Rationsanteil von 15 % gerechnet. Dies entspricht einer Tagesmenge von 1.4 bis 1.8 kg TS bzw. 2 bis 2.74 kg TS.

Die Varianten 1, 2, 2a, 2b und 3 entsprechen **Nichtsilobetrieben**. Der Einsatz von 10 % Maiswürfeln im Sommer zu Grünfutter mit 21 % RP_{TS} (Variante 2b) reduziert die Harn-N-Ausscheidung im Sommer um 9.2 % (-5.38 kg N) verglichen mit Variante 2 ohne Ergänzungsfütterung. Der Effekt von Dürrfutter ist geringfügig kleiner (Variante 2a). Am effektivsten wirkt sich eine **Absenkung des RP-Gehaltes im Grünfutter** auf moderate 17.6 % aus (Variante 1), was mit zurückhaltender Düngung und/oder mittlerem Nutzungsstadium erreicht werden kann. Der ruminale N-Überschuss wird um die Hälfte reduziert und die im Sommer ausgeschiedene Harn-N-Menge sinkt von rund 350 g/Tag auf 250 g/Tag (Abb. 68b). Die Ergänzungsfuttermenge müsste massiv erhöht werden, um auf eine vergleichbar tiefe N-Ausscheidung zu kommen. Dies zeigt die Grenzen der Ergänzungsfütterung auf.



a) Variante 4 und 9

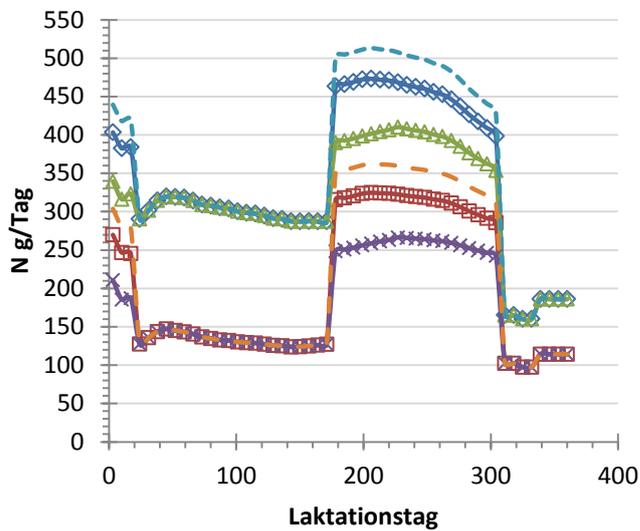
Winter:
Dürrfutter
Grassilage
+Kf

TMR:
DF+GS+MS+Rü+Kf

Sommer:
Grünfutter RP 21 %
keine Ef

TMR: MS+DF+Gras

7000 kg ECM
Abkalbung Oktober

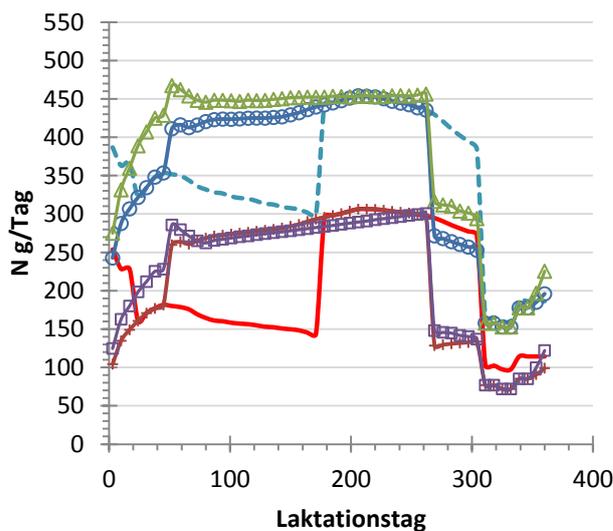


b) Variante 1, 2, 2b

Winter:
Dürrfutter
Futtrüben
+Kf

Sommer:
Grünfutter
RP 17.6% RP -Ef
RP 21 % RP -Ef
RP 21 % RP+MW

7000 kg ECM
Abkalbung Oktober



c) Variante 6, 7, 8

Winter:
Dürrfutter
Grassilage
Maissilage
+Kf

Sommer:
Grünfutter RP 21 %
Maissilage als Ef
+KF

7000 kg ECM
Abkalbung Okt, Feb

10000 kg ECM
Abkalbung Feb

Abbildung 68. Modellierter Harn-N- und Gesamt-N-Ausscheidung im Verlaufe der Laktation in Abhängigkeit von Rationstyp, Ergänzungsfütterung im Sommer, Abkalbedatum und Milchleistung.

Tabelle 14. Modellierter N-Aufnahme und N-Ausscheidung in Milch, Kot und Harn in 12 Fütterungsstrategien mit oder ohne Silage und mit oder ohne Beifutter im Sommer.

Var	NEL MJ/kg TS	RP g/kg TS	RNB g/kg TS	N Verzehr kg	N Milch kg	N Exkr kg	N Kot kg	N Harn kg	Harn- N/N-Exkr %	N-Exkr g pro kg Milch	N-Eff %	KF kg
1. Winter: Dürrfutter A3+Rüben; Sommer: Grünfutter RP 17.6 %; Abk: 20.Okt; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	6.06	139.33	2.75	66.75	20.44	46.31	25.94	20.37	43.99	11.36	30.62	318
Sommer	6.34	170.05	23.99	83.85	14.00	68.80	24.56	44.23	64.30	24.64	16.70	7
Laktation	6.20	154.91	13.52	150.60	34.44	115.11	50.50	64.61	56.13	16.76	22.87	325
2. Winter: Dürrfutter A3+Rüben; Sommer: Grünfutter RP 21%; Abk: 20.Okt; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	6.06	139.33	2.75	66.75	20.44	46.31	25.94	20.37	43.99	11.36	30.62	318
Sommer	6.34	198.62	50.58	98.80	14.00	83.75	25.36	58.39	69.72	30.0	14.17	3
Laktation	6.20	169.53	27.11	165.55	34.44	130.06	51.30	78.76	60.56	18.94	20.80	321
2a. Winter: Dürrfutter A3+Rüben; Sommer: Grünfutter RP 21%+DF 10%; Abk: 20.Okt; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	6.06	139.33	2.75	66.75	20.44	46.31	25.94	20.37	43.99	11.36	30.62	318
Sommer	6.21	189.22	44.26	93.57	14.00	78.51	24.97	53.55	68.20	28.12	14.97	11
Laktation	6.14	164.66	23.83	160.32	34.44	124.82	50.91	73.92	59.22	18.18	21.48	329
2b. Winter: Dürrfutter A3+Rüben; Sommer: Grünfutter RP 21%+MW 10%; Abk: 20.Okt; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	6.06	139.33	2.75	66.75	20.44	46.31	25.94	20.37	43.99	11.36	30.62	319
Sommer	6.35	187.17	43.13	93.13	14.00	78.08	25.08	53.00	67.88	27.97	15.04	2+262MW
Laktation	6.21	163.70	23.32	159.88	34.44	124.39	51.02	73.37	58.99	18.12	21.54	321+262MW
3. Winter: Dürrfutter A2+MW15%; Sommer: Grünfutter RP 21%+MW 10%; Abk: 20.Okt; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	6.11	149.67	15.94	71.19	20.44	50.75	25.99	24.76	48.78	12.45	28.71	389+395MW
Sommer	6.35	187.17	43.13	93.13	14.00	78.08	25.08	53.00	67.88	27.97	15.04	2+262 MW
Laktation	6.23	168.84	29.84	164.32	34.44	128.83	51.07	77.76	60.36	18.76	20.96	391+657MW
4. Winter: GS+DF; Sommer: Grünfutter RP 21%; Abk: 20.Okt; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	6.31	162.41	31.61	74.70	20.44	54.27	25.32	28.95	53.35	13.32	27.36	561
Sommer	6.34	198.62	50.58	98.80	14.00	83.75	25.36	58.39	69.72	30.0	14.17	3
Laktation	6.33	181.22	41.47	173.50	34.44	138.01	50.68	87.33	63.28	20.10	19.85	564
5. Winter: GS+DF; Sommer: Grünfutter RP 21%+ZRS 10%; Abk: 20.Okt; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	6.31	162.41	31.61	74.70	20.44	54.27	25.32	28.95	53.35	13.32	27.36	561
Sommer	6.41	188.62	39.81	94.02	14.00	78.97	25.15	53.81	68.15	28.29	14.89	263 ZRS
Laktation	6.36	176.04	35.88	168.72	34.44	133.23	50.47	82.76	62.12	19.4	20.41	561+263 ZRS
6. Winter: MS+GS+DF; Sommer: Grünfutter RP 21%+MS 15 %; Abk: 20.Okt; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	6.37	152.94	22.29	70.51	20.44	50.07	25.24	24.83	49.59	12.29	28.99	382
Sommer	6.32	181.75	40.32	90.36	14.00	75.30	24.95	50.35	66.86	26.97	15.50	3
Laktation	6.34	167.89	31.65	160.87	34.44	125.38	50.20	75.18	59.96	18.26	21.41	385
7. Winter: MS+GS+DF; Sommer: Grünfutter RP 21%+MS 15%; Abk: 20.Feb; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	5.91	136.57	12.90	46.41	9.48	35.88	18.21	17.68	49.26	18.99	20.42	132
Sommer	6.42	188.41	46.65	119.03	24.96	94.07	31.87	62.20	66.12	18.90	20.97	87
Laktation	6.24	170.28	34.85	165.45	34.44	129.95	50.08	79.87	61.46	18.93	20.82	219
8. Winter: MS+GS+DF; Sommer: Grünfutter RP 21%+MS 15%; Abk: 20.Feb; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 10000 kg ECM												
Winter	6.10	145.77	15.39	56.14	14.12	40.97	20.80	20.17	49.23	14.56	25.15	332
Sommer	6.66	180.50	41.02	133.09	34.96	98.13	37.01	61.12	62.28	14.08	26.27	750
Laktation	6.47	168.58	32.23	189.23	49.08	139.10	57.81	81.28	58.44	14.21	25.94	1083
9. TMR (DF, GS, MS, Rüben, Sommer: MS, DF, Grünf); Abk: 20.Okt; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	6.43	140.32	10.72	66.25	20.44	45.81	25.58	20.22	44.15	11.24	30.85	313
Sommer	6.16	143.99	15.52	71.04	14.00	55.99	24.10	31.89	56.96	20.05	19.71	19
Laktation	6.29	142.20	13.17	137.29	34.44	101.79	49.68	52.11	51.20	14.82	25.09	332
10. Winter: DF+Rüben; Sommer: Grünfutter RP 24.5 %; Abk: 20.Feb; Winterbeginn: 10.Nov: Sommerbeginn:10.April: Milch: 7000 kg ECM												
Winter	5.67	132.37	-0.03	45.76	9.48	35.23	18.48	16.75	47.56	18.64	20.71	84
Sommer	6.47	243.41	90.33	153.94	24.96	128.98	34.67	94.31	73.12	25.91	16.22	57
Laktation	6.19	204.16	58.39	199.70	34.44	164.21	53.14	111.06	67.64	23.91	17.25	141

In **Silobetrieben** mit Dürrfutter und Grassilage im Winter und Herbstabkalbung kann, im Vergleich zu Variante 4, durch den Einsatz von Zuckerrübenschnitzel im Sommer zu Gras (Variante 5) der Harn-N im Sommer um 7.8% (4.6 kg N) verringert werden. Wird sowohl im Winter wie im Sommer zusätzlich Maissilage in Rationsanteilen von 40 % bzw 15 % eingesetzt (Variante 6), dann werden die Harn-N-Ausscheidungen im Sommer um 8 kg N und über die ganze Laktation um 12.15 kg N verringert.

Bei **Frühlingsabkalbung** fällt rund 70 % der Laktationsphase in die Grünfütterung, so dass während 2-3 Monaten noch Krafffutter eingesetzt werden muss, um vor allem den Energiebedarf zu decken. Gegenüber der Herbstabkalbung wird insgesamt weniger Krafffutter verbraucht. Die N-Ausscheidungen verlaufen aber über eine längere Phase auf einem hohen Niveau, so dass gesamthaft mehr N ausgeschieden wird als bei Herbstabkalbung (Variante 7 verglichen mit Variante 6, Abb. 68c). Wird bei gleicher Fütterung von einer Hochleistungskuh ausgegangen (Variante 8, 10'000 kg ECM), steigt der Krafffutterverbrauch markant an. Dies bewirkt aber einen reduzierten RP-Gehalt der Sommerration, so dass im Sommer weniger Harn-N ausgeschieden wird als bei einer Milchleistung von 7000 kg (Variante 7). Hingegen fällt aufgrund des höheren Verzehrsniveaus mehr Kot-N an. Die um 3000 kg höhere Milchleistung bewirkt insgesamt einen um 10 kg höheren N-Anfall bei einer verbesserten N-Effizienz (Tab. 14).

Die absolut höchsten N-Ausscheidungen von 164 kg N/Jahr ergeben sich in Variante 10 mit einem sehr hohen **RP-Gehalt des Grünfutters von 24.5 %**, was in intensiven Vollweidebetrieben mit **Kurzrasenweide** erreicht wird (Frey und Thomet 2011). Die sehr hohen Harn-N-Ausscheidungen und hohe Harn-N-Anteil am N-Anfall von 73 % sind weniger emissionsrelevant, solange sie auf der Weide ausgeschieden werden, da der Harn rasch in den Boden infiltriert. Dadurch ergeben sich wesentlich tiefere NH₃-Emissionen (siehe Kap. 4.2). Aber es resultiert eine schlechte **N-Effizienz von lediglich 17.3 %** auf Stufe Kuh, die mit einer erheblichen **Leberbelastung** zur Entgiftung des aus dem Pansen anflutenden Ammoniaks einhergeht.

Mit den modellierten Fütterungsstrategien konnte gezeigt werden, dass die anfallende N-Menge, das Kot/Harnverhältnis und die N-Effizienz beeinflusst werden können. Die Grünfütterungsperiode hat in Bezug auf N-Emissionen das grösste Reduktionspotenzial, da je nach Abkalbezeitpunkt und Ration 60 % bis 85 % des Harn-N im Sommer ausgeschieden werden. Allerdings stossen Fütterungsmassnahmen an ihre Grenzen, wenn eine Grasland betonte Fütterung angestrebt wird. Mit einer Ergänzungsfütterung im Sommer lassen sich die Harn-N-Ausscheidungen um rund 10 % reduzieren. Die effektivste Strategie ist aber die Anpassung der **Grünfutterqualität** in Richtung eines tieferen Proteingehaltes unter Beibehaltung des Energiegehaltes. Bei einem RP-Gehalt des Grünfutters von 17.6 % verglichen mit 21 % sind die N-Ausscheidungen im Sommer fast 20 % geringer. Die

Umsetzung einer emissionsarmen Fütterung bedingt daher auch futterbauliche Massnahmen im Bereich Düngung, Nutzungsstadium, Nutzungsintensität und botanischer Zusammensetzung.

Der **Jahresausstoss an N** und der **Harn-N** korrelieren eng mit dem gewichteten RP-Gehalt der Jahresrationen (Abb. 69), die zwischen 14.2 und 20.4 % RP variieren. Das Spektrum von 102 kg N bis 164 kg N-Anfall/Jahr bei einer Milchleistung von 7000 kg verdeutlicht, dass ein erheblicher Optimierungsspielraum in der Ausgestaltung von Fütterungsstrategien besteht. Im Vergleich zur Basisvariante ohne Silage (Variante 3, 168.8 g RP/kg TS), weichen die gesamten N-Ausscheidungen um bis 27.5 % und der Harn-N um bis 43.5 % davon ab. Der Kot-N dagegen variiert in engen Grenzen. Es liessen sich noch beliebig viele Varianten berechnen und die Milchleistung, der Abkalbezeitpunkt und die Winterfütterungsdauer weiter variieren oder auf ein ganzes Herdenmodell ausbauen. Im Rahmen der berechneten Varianten verändert sich der N-Anfall einer Milchkuh pro **10 g Unterschied im RP-Gehalt** der Jahresration um **10 kg N** (7.8 %) und der Harn-N um 9.5 kg (12.3%) pro Jahr.

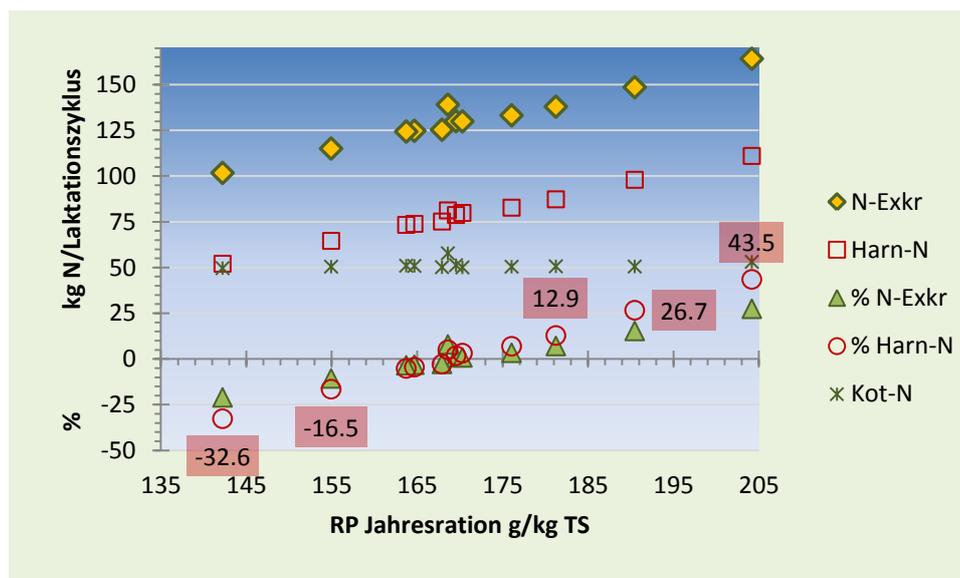


Abbildung 69. Modellierte Jahresausscheidung an N in Form von Harn, Kot und total in Abhängigkeit vom RP-Gehalt der Jahresration und prozentuale Abweichung zur Basis 168.8 g RP, 7000 kg ECM und Maiswürfel zu Heu im Winter und Gras im Sommer (Variante 3).

Die Grössenordnung des modellierten N-Anfalles stimmt mit Berechnungen für Rationen des EU-Raumes weitgehend überein (Abb. 70). Zu berücksichtigen ist, dass es sich bei den Angaben von Peyraud (2008) um den Hofdünger-N-Anfall handelt, bei dem gasförmige N-Verluste (Stall- und Lagerverluste) bereits abgezogen wurden.

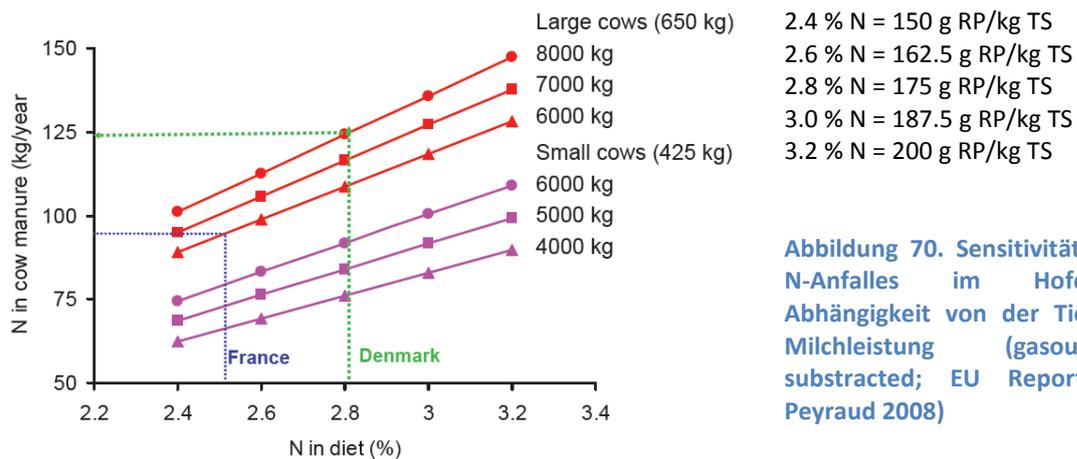


Abbildung 70. Sensitivitätsanalyse des N-Anfalles im Hofdünger in Abhängigkeit von der Tiergrösse und Milchleistung (gasous losses subtracted; EU Report zitiert in Peyraud 2008)

4.2. Einfluss der Ration auf die NH₃-Emissionen

Um den Einfluss der Ration und von Fütterungsmassnahmen auf die Ammoniakemissionen zu beurteilen, wurden die modellierten N-Ausscheidungen aus dem vorangehenden Kapitel übernommen und anlehnend an das Modell Agrammon (<http://agrammon.ch>) Emissionsberechnungen durchgeführt. Diese Modellrechnungen können vor allem verwendet werden, um die relativen Unterschiede in den Emissionen zwischen verschiedenen Rationen zu beurteilen. Eine Beurteilung des absoluten Niveaus der Emissionen ist nur beschränkt möglich, da nicht überprüft werden kann, ob die unterstellten Rohproteingehalte des Raufutters dem praxisüblichen Mittel entsprechen.

Das Modell Agrammon konnte nicht direkt für die Berechnungen verwendet werden, da es zur Fütterung als Input nur die Rationskomponenten, nicht aber die eingesetzten Mengen und Gehalte der Komponenten berücksichtigt. Es wurde daher ein vereinfachtes Excel-Modell zusammengesetzt, welches auch den N-Fluss abbildet und die gleichen Emissionsraten verwendet. Als Input für dieses Modell dienten die Kot- und Harn-N-Ausscheidungen aus Tabelle 14. Die Harn-N-Ausscheidung wurde gleichgesetzt mit TAN (total löslicher N). Die Variante 10 (Vollweide mit hohem RP-Gehalt) wurde um eine Variante mit reiner Stallfütterung (10b), das heisst Eingrasen im Sommer, erweitert. Als weitere Varianten wurde eine Vollweide bei mittlerem (Var 10a) und tiefem RP-Gehalt (Var 1a) des Weidegrases formuliert. Als Referenz für den Vergleich verschiedener Rationen wurde im Winter das Mittel einer Silageration (Maissilage, Grassilage, Dürrfutter) und einer Nichtsilageration (Dürrfutter, Rüben) und im Sommer eine reine Grasration (ohne Beifütterung anderer Raufutterkomponenten) gewählt.

Die Fütterung bzw. die Ausscheidungen beeinflussen die Emissionen aller Stufen der Hofdüngerkette (Stall, Laufhof, Lagerung, Ausbringung, Weide). Damit werden die Emissionen von einer Vielzahl betriebsspezifischer und produktionstechnischer Variablen beeinflusst. Um

die Ergebnisse trotzdem sinnvoll interpretieren zu können, musste ein einfacher Standardbetrieb definiert werden, der wie folgt aussieht: Laufstall mit Produktion von Vollgülle, ganzjähriger Zutritt zum Laufhof (ausser bei Vollweidesystem im Sommer), geschlossene Güllelagerung, Gülleausbringung mit Prallteller, 6 Stunden Weide an 210 Tagen (ausser Vollweidesystem mit 20 h pro Tag).

Gleich wie im Modell Agrammon wurden die folgenden Emissionsraten verwendet:

- Stall 18.3 % des TAN-Flusses (Minderemission bei Weidegang: bei 5-12 h pro Tag -20 %, bei 20 h pro Tag -70 %)
- Laufhof 70 % des TAN-Flusses; 10% der Ausscheidungen im Laufhof
- Güllelager 0.6 g N pro m² Gülleoberfläche pro Tag (entspricht 6 g/m²/Tag bei offenem Lager); Güllelageroberfläche 9.2 m² pro Kuh (basiert auf 23 m³/Kuh/Jahr unverdünnte Gülle, Verdünnung 1:1, Lagerkapazität 6 Monate, Tiefe des Güllelagers 2.5 m)
- Gülleausbringung 50 % des TAN-Flusses

Für die Referenzvariante wurde eine NH₃-Jahresemission von 45.6 kg N berechnet. Die NH₃-Jahresemissionen variieren zwischen 21.0 und 70.6 kg N und in den Teilweideszenarien zwischen 31.7 und 48.2 kg N (Tab. 15). Bezogen auf den **N-Anfall verflüchtigt sich 17.3 % bis 43 % des N_{tot}** und bis 63.6 % des Harn-N. Die durchschnittlichen **Stallemissionen pro Kuh belaufen sich ohne die Extremvariante 10b auf 19.6 bis 52.4 g N/Tag**, was gut übereinstimmt mit effektiven Messwerten in Schweizer (Schrade 2009) und holländischen (van Duinkerken 2005, 2011) Milchviehställen.

Tabelle 15. Modellierte NH₃-N-Jahresemissionen über einen Laktationszyklus auf der Basis der Fütterungsvarianten von Tabelle 14.

Variante	1a	1	2	2a	2b	3	4	5	6	7	8	9	10	10a	10b
Abkalbung	Feb	Okt	Okt	Okt	Okt	Okt	Okt	Okt	Okt	Feb	Feb	Okt	Feb	Feb	Feb
Sommerstrategie	Vollw	Teilweide 6 h											Vollweide 20 h	Stall	
RP-Gehalt Grünf %	17.6	17.6	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	24.5	21	24.5
Beifutter Sommer				DF	MW	MW		ZRS	MS	MS	MS	TMR*			
NH ₃ Weide	3.65	0.92	1.21	1.11	1.10	1.10	1.21	1.12	1.04	1.29	1.27	0	6.52	5.13	0
NH ₃ Stall/LH	7.14	14.11	16.97	15.99	15.88	16.99	19.14	18.22	16.47	17.04	17.47	13.18	9.42	8.31	28.10
NH ₃ Lager	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
NH ₃ Ausbringung	8.20	18.71	22.59	21.26	21.11	22.75	25.79	24.54	22.05	22.59	23.26	16.46	10.52	9.39	40.47
NH₃-N total kg/Kuh	21.00	35.75	42.79	40.38	40.11	42.86	48.16	45.89	41.58	42.93	44.02	31.66	28.47	24.84	70.59
Anteil NH ₃ an N _{tot} %	17.6	31.1	32.9	32.3	32.2	33.3	34.9	34.4	33.2	33.1	31.6	33.1	17.3	17.5	43.0
Anteil NH ₃ an Harn-N	30.2	55.3	54.3	54.6	54.7	55.1	55.1	55.4	55.3	53.8	54.1	60.8	25.6	27.3	63.6
Vergleich Ref kg	-24.19	-9.81	-2.77	-5.18	-5.45	-2.70	2.60	0.33	-3.97	-2.63	-1.54	-13.53	-17.1	-20.71	25.03
Vergleich Ref %	46.5	78.5	93.9	88.6	88.0	94.1	105.7	100.7	91.3	94.2	96.6	70.1	62.5	54.5	154.9

* Siestaweide 3 h im Sommer

Trotz sehr hohem RP-Gehalt der Sommer- und Jahresration führt die **Vollweidestrategie** der Variante 10 zu deutlich tieferen Jahresemissionen, die 40 % unter der Referenz und 10 %

unter der maisbetonten TMR-Variante liegen. Würde das proteinreiche Weidegras nur im Stall verfüttert, dann erhöhen sich die NH₃-Jahresemissionen von 28.5 kg N auf 70.6 kg N, wobei dieser Fall in der Praxis selten (rückläufig) anzutreffen ist. Die tiefsten Jahresemissionen von 21 kg NH₃-N werden mit der Vollweidevariante 1a erzielt (17.6 % RP im Weidegras).

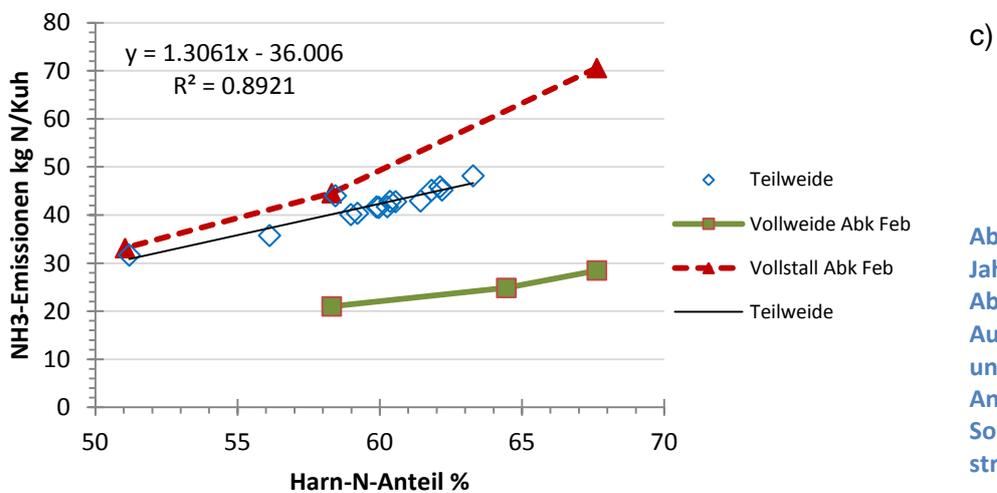
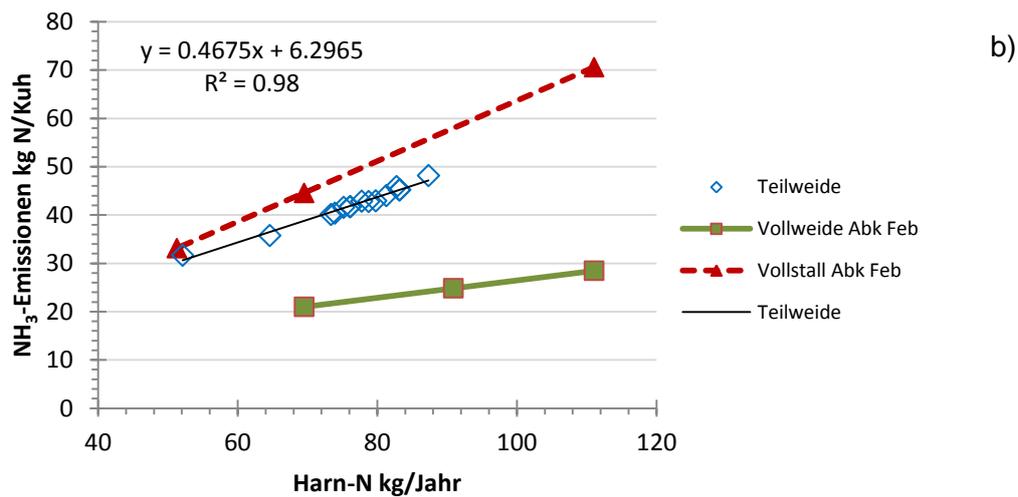
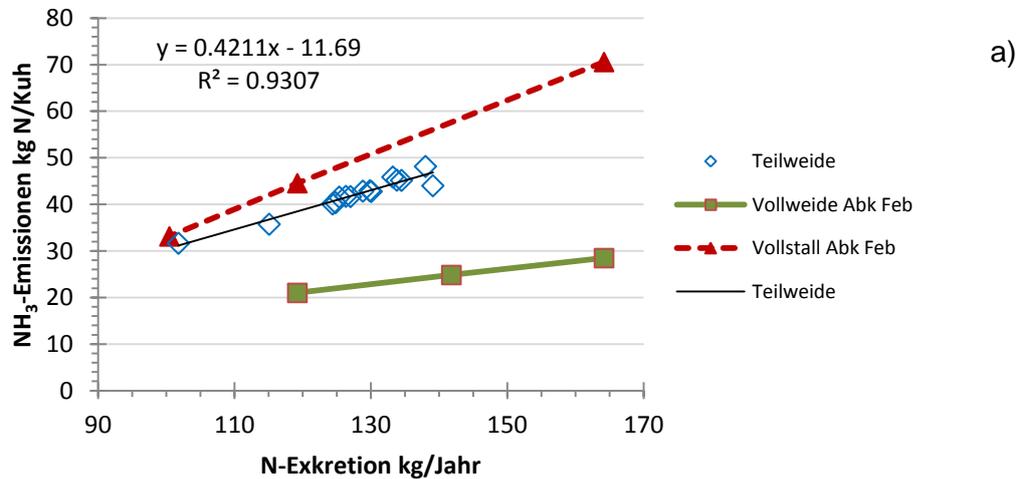


Abbildung 71. NH₃-Jahresemissionen in Abhängigkeit von N-Ausscheidung total und im Harn, Harn-N-Anteil und der Sommerfütterungsstrategie.

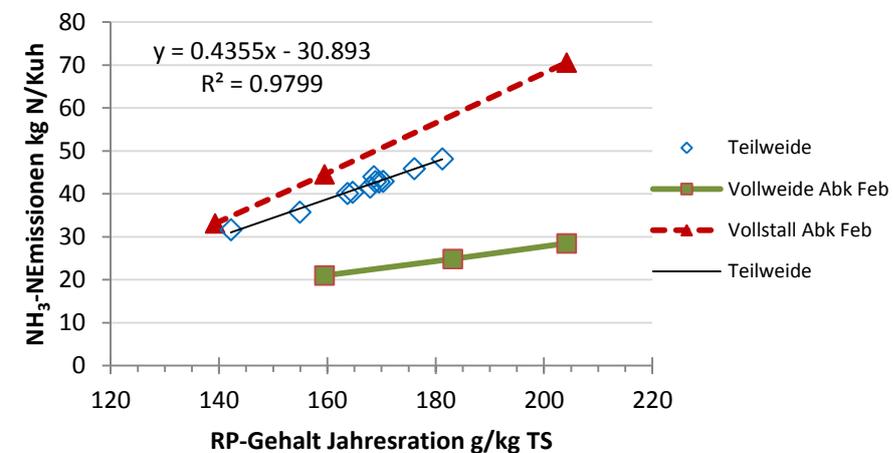
Grundsätzlich beeinflusst die Weide die NH₃-Emissionen ganz entscheidend (Abb. 71, 72). Es darf aber nicht vernachlässigt werden, dass bei hohem RP-Gehalt des Weidegrases sehr

hohe N-Mengen ausgeschieden werden und der Futter-N schlecht, d.h. mit einer tiefen Effizienz verwertet wird. Auf der Weideparzelle besteht in diesem Fall ein Risiko für **Nitratauswaschungen**.

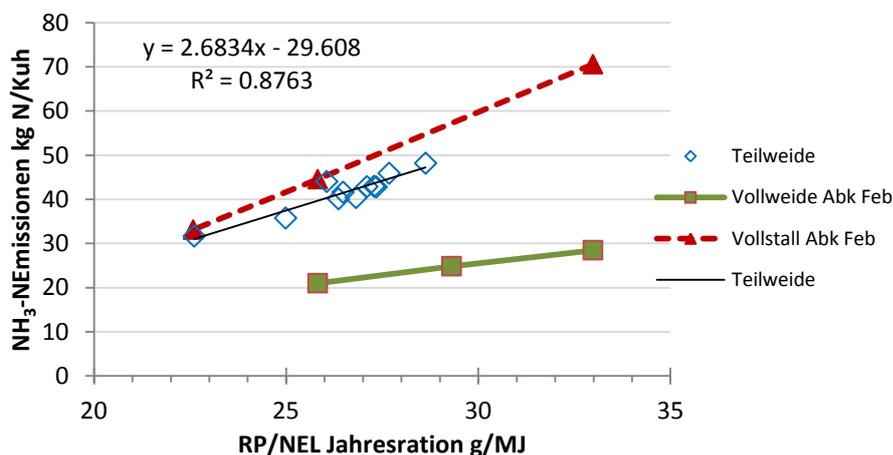
Innerhalb der **Teilweidevarianten** (6 h Weide pro Tag) bestehen hohe Korrelationen zwischen den NH₃-Jahresemissionen und dem N-Anfall, dem Harn-N-Anfall und Harn-N-Anteil an N_{tot} (Abb. 71) sowie dem RP-Gehalt und RP/NEL-Verhältnis der Ration (Abb. 72). Von dieser Beziehung weichen die Vollweide- und Vollstallstrategie jeweils deutlich ab. Aus der Beziehung innerhalb der Teilweidevarianten und unter den gegebenen Rahmenbedingungen lassen sich folgende Grössenordnungen von **Reduktionspotenzialen an NH₃-Jahresemissionen** ableiten:

- pro kg tiefere N-Exkretion → 0.42 kg weniger NH₃-N
- pro kg tieferer Harn-N-Anfall → 0.47 kg weniger NH₃-N
- pro % tieferer Harnanteil an N-Ausscheidungen → 1.3 kg weniger NH₃-N
- pro g weniger RP-Gehalt in Jahresration → 0.44 kg weniger NH₃-N
- pro g weniger RP/NEL in Jahresration → 2.68 kg weniger NH₃-N

Die analogen Effekte sind bei Vollstallfütterung jeweils grösser und bei Vollweide im Sommer kleiner (Abb. 71, 72).



a)



b)

Abbildung 72. NH₃-Jahresemissionen in Abhängigkeit vom RP-Gehalt und RP / NEL - Verhältnis der Ration und der Sommerfütterungsstrategie.

Mit der **Beifütterung von Dürrfutter, Maiswürfel, Rübenschnitzel oder Maissilage** im Sommer lassen sich die Stallemissionen während der Grünfütterung im Teilweidesystem um 5 - 10 % reduzieren. Die **maisbetonte Fütterungsstrategie** verursacht trotz der fehlenden Weide um ca. 25 % geringere Emissionen als die Referenz. Bei Frühjahrsabkalbung (Variante 6) im Vergleich zu Herbstabkalbung (Variante 7) sind die Jahresemissionen um 3.1 % höher. Eine Laktationsleistung von 10000 kg (Variante 8) gegenüber 7000 kg (Variante 7) bewirkt um 2.6 % höhere NH₃-Jahresemissionen. Der **Einfluss einer variierenden Weidedauer** auf die NH₃-Emissionen im Sommer ist exemplarisch für Variante 2 berechnet worden (Abb. 73). **Pro Stunde Weidegang** vermindern sich die Emissionen im Sommer über alle Emissionsstufen aufaddiert um rund **1.3 kg NH₃-N**.

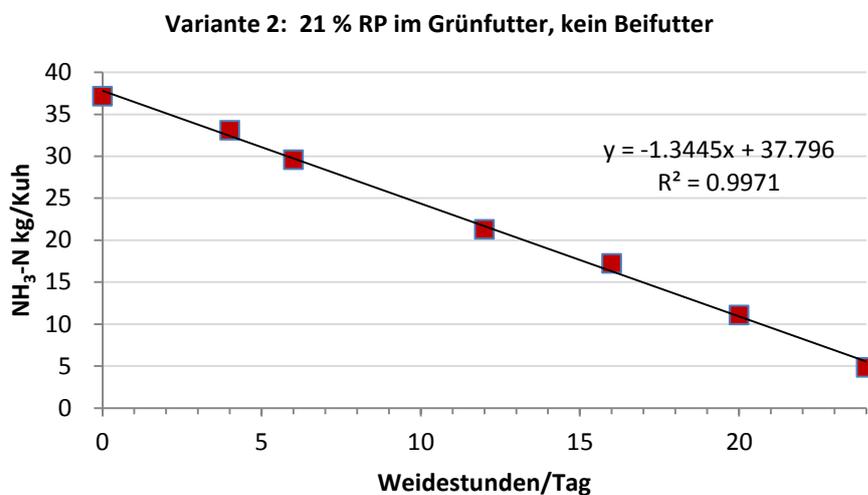


Abbildung 73. Einfluss der Weidedauer auf die NH₃-Emissionen im Sommer (210 Tage).

Die in dieser Studie geschätzten NH₃-Emissionen stützen sich auf Fütterungsszenarien, die in der Praxis vorkommen. Die Bandbreite an möglichen NH₃-Emissionen wird nach unten durch die Vollweidevarianten und nach oben durch die Vollstallvarianten begrenzt. Eine Unsicherheit besteht in Bezug auf die Verbreitung der Grünfutterqualitätsbereiche. Ohne zusätzliche Erhebungen lässt sich nicht abschätzen, welcher RP-Gehalt der Sommerration und im speziellen des Grünfutters als üblich anzusehen ist, wobei auch von beträchtlichen kurzfristigen Schwankungen auszugehen ist.

Der **emissionsmindernde Beitrag der Weidestrategie** konnte gezeigt werden. Dieser Effekt würde mit dem **Milchharnstoff als alleinigem Indikator ungenügend erfasst**. Für Weidegang müssten **Korrekturfaktoren** eingeführt werden.

5. Synthese und Empfehlungen

5.1. Zusammenfassende Erkenntnisse

Die wichtigsten Erkenntnisse sind kapitelweise zusammengefasst.

Agrarökologischer Hintergrund

- 1) Ammoniak ist ein Luftschadstoff, der als N-Verlustquelle die N-Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion reduziert
- 2) 86 % der Ammoniakemissionen in der Schweiz stammen aus der Tierhaltung und davon gehen 79 % auf das Konto der Rindviehhaltung.
- 3) Die Rationengestaltung beim Milchvieh ist saisonal geprägt und wird durch Standort und Wetter beeinflusst, da der Wiesenfutteranteil an der Ration hoch ist. Sie ist durch eine grosse Variabilität zwischen und innerhalb Betrieb gekennzeichnet.
- 4) Die Einschätzung der Fütterungspraxis beim Milchvieh stösst auf Schwierigkeiten, da Angaben zum Futtermittelverzehr und zur Zusammensetzung der Grundration in der Praxis oft fehlen.
- 5) N-emissionsarme Fütterung heisst:
 - Reduktion der N-Ausscheidung
 - Reduktion des flüchtigen N, das heisst des im Harn ausgeschiedenen N, wobei Harnstoff die Hauptverbindung darstellt.
- 6) NH₃-Emissionen werden in der Praxis von sich überlagernden Effekten - von der Fütterung über Stallbau, Klimafaktoren bis Ausbringtechnik - beeinflusst. In Messreihen von Stallemissionen haben die ruminale Proteinbilanz, der Milchharnstoff von Tankmilchproben, die Windgeschwindigkeit und die Aussentemperatur den grössten Beitrag zur Erklärung der Variationsursachen gebracht.

Proteinstoffwechsel Wiederkäuer (Literaturrecherche)

- 1) Der Proteinstoffwechsel beim Wiederkäuer ist komplexer Natur mit Interaktionen zwischen Energie- und Proteinstoffwechsel. Die mikrobielle Pansentätigkeit versorgt die Wiederkäuer mit Energie und Protein aber zum Preis einer vergleichsweise tiefen N-Effizienz (laktierende Kühe: 15 % - 30 %).
- 2) 60-80 % des Futter-N wird im Mittel zu 40 % über den Kot und zu 60 % über den Harn ausgeschieden.
- 3) Der Harnstoff-Turnover beim Wiederkäuer ist eng an den Pansenstoffwechsel gekoppelt. Der Harnstoffpool wird gespeist durch: ruminale Proteinabbau durch Pansenbakterien

- bis auf Stufe Ammoniak, metabolische Umwandlungsverluste im Proteinstoffwechsel, Gluconeogenese, Proteinübersversorgung, rumino-hepatischen Kreislauf.
- 4) Überschuss an verfügbarem N im Verhältnis zur fermentierbaren Energie im Pansen - ausgedrückt als **PMN-PME > 0** (positive ruminale Proteinbilanz) - bewirkt hohe Ammoniakkonzentrationen im Pansen, die durch eine hohe Abbaubarkeit des Futterproteins gefördert wird. Ammoniak wird in der Leber zu Harnstoff entgiftet und über den Harn ausgeschieden. Harnstoff diffundiert in alle Körperflüssigkeiten und erscheint auch in der Milch. Wiederkäuer sind in der Lage, in N-Mangelsituationen über den rumino-hepatischen Kreislauf Harnstoff zu rezyklieren.
 - 5) **Fütterungsmassnahmen** können die vermeidbaren Harnstoffausscheidungen minimieren, indem die ruminale Bilanz (PMN-PME) ausgeglichen und die Protein- und Energieversorgung optimiert werden. Das heisst, dass der ruminale Ammoniaküberhang und auf Stufe Kuh eine Proteinübersversorgung zu minimieren sind.

Indikatoren mit NH₃-Emissionsrelevanz (Literaturrecherche)

- 1) Der N-Umsatz einer Milchkuh ist definiert als: $N_{\text{Aufnahme}} - N_{\text{Milch}} - N_{\text{Ansatz, Erhaltung}} = N_{\text{Kot}} + N_{\text{Harn}}$
- 2) Die quantitative Kot- und Harnsammlung und die Bestimmung des Futterverzehr sind sehr arbeitsaufwendig. Indikatoren zur Erfassung der N-Ausscheidung sind für ein Monitoring von emissionsmindernden Massnahmen unentbehrlich.
- 3) **Indikatoren** mit NH₃-Emissionsrelevanz sind in irgend einer Form mit der N-Verzehr/RP_{Ration}/VOS_{Ration}/Ammoniak_{Pansen}/Harnstoffpool/Harn-N/Milch-N-Effizienz-Achse korreliert.
- 4) Die wichtigsten **Futter** bezogenen **Indikatoren** sind: N-Verzehr, RP-Gehalt, N/VOS- und RP/NEL-Verhältnis, aRP, ruminale Proteinbilanz (PMN-PME), Energiebilanz, APD-Bilanz.
- 5) Der ruminale Ammoniakgehalt als Ausgangspunkt des Harnstoffpools korreliert mit dem RP-Gehalt der Ration, der ruminale Proteinbilanz, dem Milchharnstoff und der Harnstoffausscheidung im Harn.
- 6) Der **Kot-N** variiert unabhängig vom Harnstoff-Turnover und korreliert nicht mit dem Milchharnstoff. Aus der Auswertung verschiedener Schweizer Datensätze konnte eine curvilineare Abhängigkeit der fäkalen N-Verdaulichkeit vom RP-Gehalt von Winter- und Sommerrationen abgeleitet werden (Abb. 13). Daraus lässt sich die Kot-N-Menge berechnen, wenn der Futterverzehr und der RP-Gehalt der Ration bekannt sind.
- 7) Das Harnvolumen kann mit Kreatinin als Harnmarker geschätzt werden. Der Kreatininkoeffizient muss für jeden Kuhtyp vorgängig ermittelt werden.
- 8) Die **Harn-N-Menge** korreliert positiv mit der N-Aufnahme, dem RP-Gehalt der Ration und dem Milchharnstoff und korreliert negativ mit Kohlenhydratfraktionen der Ration wie Stärke, *Water Soluble Carbohydrates* (WSC) und *Nonfiber Carbohydrates* (NFC).

- 9) Verschiedene Schätzungen der **Harn-N-Menge** aus dem **Milchharnstoff** weisen Bestimmtheitsmasse von über 0.7 auf. Zwischen den Regressionsgeraden treten Unterschiede im Niveau und Steigungsmass auf. Es sind Fälle dokumentiert, die eine nur schwache Beziehung zwischen Milchharnstoff und Harn-N belegen. Rasseneffekte sind nicht auszuschliessen.
- 10) Der gesamte **N-Anfall** als Summe von Kot-N und Harn-N lässt sich besser über die N-Aufnahme als allein über den Milchharnstoff schätzen. Regressionen mit der N-Aufnahme als Parameter zur Schätzung der totalen N-Ausscheidung ergeben ein recht einheitliches Steigungsmass von 0.71 – 0.76 bei hohen Bestimmtheitsmassen.
- 11) Gemäss Reijs (2007) wird pro kg ECM bei bedarfsgerechter Proteinversorgung und ausgeglichener ruminaler Bilanz 11.4 g N_{tot} ausgeschieden.
- 12) Die **N-Effizienz** verläuft entgegengesetzt zum Harn-N-Anteil an den N-Ausscheidungen, zum Milchharnstoffgehalt und zum Rohproteingehalt der Ration, also mit genau jenen Grössen, die den Harnstoffturnover widerspiegeln. Die Reduktion der Harnstoffverluste verbessert die N-Effizienz.

Milchharnstoff

- 1) Der direkte Zusammenhang zwischen dem Milchharnstoffgehalt und dem Harnstoffturnover der Milchkühe im Pansen, Blut und Harn ist belegt. Sehr enge positive Korrelationen bestehen zwischen dem Blut- und Milchharnstoffgehalt.
- 2) In den einfachen und multiplen Regressionen sind der RP-Gehalt der Ration, die aRP, die N-Aufnahme, die ruminale Proteinbilanz, die APD-Bilanz, Kohlenhydrate (NFC), und Protein/Energieverhältnisse signifikante Variationsursachen des Milchharnstoffgehaltes.
- 3) Parameter, die den Milchharnstoffgehalt neben der Rationengestaltung hauptsächlich beeinflussen, sind: Laktationsstadium, Laktationsnummer, Milchleistung, Saison (Winter-, Grünfütterung), Jahr, Region, Höhenstufe, Betrieb bzw. Herde, Genetik, Tagesschwankungen, Analysenmethode.
- 4) In den Herdebuchbetrieben wird der Milchharnstoff routinemässig analysiert. Im Sommer werden höhere Milchharnstoffgehalte gemessen als im Winter. Milchproben aus den Spätsommer- und Herbstmonaten weisen in der Regel die höchsten Milchharnstoffwerte auf. Das grösste Reduktionspotenzial von Harn-N-Ausscheidungen ist demnach während der Grünfütterung gegeben.
- 5) Der Populationsdurchschnitt liegt bei Braunviehkühen bei 25 mg/dl und bei Fleckviehkühen bei 23 mg/dl. Der Milchharnstoffgehalt nimmt mit zunehmender Höhenstufe ab. Die Variationsbreite in den Betriebsdurchschnitten verdeutlicht den grossen Herden- bzw. Betriebseinfluss. Hohes Leistungsniveau führt nicht zwingend zu hohen Milchharnstoffgehalten.

- 6) Die Heritabilität des Milchwahnstoffgehaltes bewegt sich zwischen 0.09 und 0.22 .
- 7) **Die IR-Routineanalyse weist Qualitätsmängel auf** und sie korreliert ungenügend mit den enzymatisch bestimmten Werten.
- 8) Der Milchwahnstoffgehalt reagiert rasch auf veränderte Bedingungen und dies kann zu sprunghaften Verläufen führen.
- 9) Hohe Milchwahnstoffgehalte (>30 mg/dl) sowohl auf Ebene Einzeltier wie Herde sind immer ein starkes Indiz für hohe metabolische N-Verluste, hohe Harn-N-Ausscheidung und tiefe N-Effizienz. Welche Harnstoff-Poolquelle im Einzelfall am meisten dazu beiträgt, ist nur über eine vertiefte Situationsanalyse eruiierbar. „Normale“ Milchwahnstoffgehalte sind noch kein 100%-iger Beleg für ausgeglichene Rationen und bedarfsdeckende Fütterung. Gehalte unter 15 mg/dl zeigen ruminale und leistungsbezogene Proteindefizite an.
- 10) **Der Milchwahnstoffgehalt widerspiegelt den Harnstoff-Turnover** und ist mit den gleichen Futter-, Stoffwechsel- und Güllemerkmalen positiv korreliert wie die Ammoniakemissionen. In holländischen Versuchsreihen veränderten sich pro 1 mg Milchwahnstoff die NH₃-Stallemissionen um 2.5 bis 3.5 %.
- 11) Milchwahnstoff eignet sich als Indikator, allerdings mit gewissen Einschränkungen und offenen Fragen: Analysenmethode, Berechnungsmethode, Definition Zielwert, Reststreuung ist gross, Sprunghaftigkeit, Messfrequenz, nur bei laktierenden Tieren einsetzbar, Korrekturfaktor bei Weidegang.

Fütterungsmassnahmen

- 1) Aus der Sichtung der Literatur und der Auswertung der Schweizer Datensätze lassen sich folgende **Richtwerte für eine N-optimierte Fütterung** ableiten, die zu jedem Zeitpunkt der Laktation einzuhalten wären:

Rationsmerkmale: - RP-Gehalt <18 % (Abb. 58, 59)

(Gesamtration) - RP/NEL-Verhältnis <25 g/MJ (Abb. 60)

- N/VOS-Verhältnis <40 g/kg (Abb. 60)

- ruminale Proteinbilanz <600 g/Tag, <30 g/kg TS (Abb. 46, 61)

- MPP_{NEL}, MPP_{APDE}, MPP_{APDN}, ausgewogen, bedarfsgerecht

Fütterungstechnik: - mehr als 2x Krafftutter/Tag über Krafftutterautomat oder Futtermischwagen verabreicht

- Sonderfall Weide: postulierte Rationsmerkmale werden ohne Ausgleichsfütterung nicht eingehalten werden können. Der hohe N-

Anfall auf der Weide hat durch die Bodenversickerung ein tiefes Emissionspotenzial bei allerdings tiefer N-Effizienz. Korrekturfaktoren in Abhängigkeit von der Weidedauer sind einzuführen.

Milchharnstoff: < 25 mg/dl

- 2) Die aRP, die VOS und die ruminale Proteinbilanz (PMN-PME) nehmen eine wichtige Stellung ein. Da positive ruminale Bilanzen in graslandbasierten Rationen vorherrschen, kommen für einen Ausgleich der **gezielte Einsatz von Hackfrüchten, Rübenschnitzel, Ganzpflanzenmais, Maiskolbenschrot, Getreideganzpflanzen, Dürrfutter von älteren Nutzungsstadien, Trester, Getreide und reine Stärke** in Frage.
- 3) Die Umsetzung der Richtwerte während der **Grünfütterung** stösst an Grenzen und steht teilweise im Widerspruch zum Konzept der Grasland basierten Milchproduktion. Grünfutter ist gekennzeichnet durch eine hohe RP-Abbaubarkeit und **ruminalen N-Überschuss**. Ohne Ausgleichsfütterung zieht dies einen hohen Harnstoffpool nach sich mit hohen Harn-N-Ausscheidungen und tiefer N-Effizienz. Dazu gesellt sich eine ausgeprägte Variabilität der Futterquantität und -qualität, die unter Saison-, Witterungs- und Nutzungs- und Standorteinflüssen stehen.
- 4) Jede Form der **Ergänzungsfütterung** wird die Motivation zur Grasaufnahme bremsen und verdrängt bzw. substituiert Grünfutter. Letztlich muss ein **Kompromiss** gemacht werden zwischen maximalem Grünfuttermessung, ausgewogener Pansenfunktion, bedarfsgerechter Protein- und Energiedeckung, niedriger Stoffwechselbelastung und maximaler N-Effizienz bei minimalen Emissionen.
- 5) Mit ganzjähriger TMR-Strategie wird eine höhere Futteraufnahme erreicht als mit Weide. Der Weideverzehr stösst an Grenzen. Eine Vollweidestrategie ohne Beifutter ist mit Hochleistungskühen nicht kompatibel.
- 6) Für die Beurteilung einer ressourcenschonenden, emissionsarmen und effizienten Produktion ist die **Systemgrenze** vom Einzeltier auf den Gesamtbetrieb auszudehnen. Der ganze innerbetriebliche N-Kreislauf in den Systemteilen Tierhaltung, Hofdüngerproduktion, Boden und Futterproduktion hat Abstimmungsbedarf. Neben den NH₃-Emissionen führt auch die Nitratauswaschung zu N-Verlusten.

Auswertung Schweizerischer Fütterungsversuche

- 1) Es wurden 381 Datensätze mehrheitlich als Einzeltiermessungen aus N-Bilanzversuchen ausgewertet. Daten aus Weideversuchen sind darin enthalten. Im Mittel wurde folgender N-Umsatz erreicht:

Gruppe	n	NEL MJ/kg TS	RP g/kg TS	N-Verzehr g/Tag	Kot-N g/Tag	Harn-N g/Tag	Harn- N/N- Exkr %	Milch kg ECM	MUC mg/dl
Galchkühe	31	4.9	109	132.54	54.25	37.16	27.0	-	-
Milchkühe Winter	165	6.15	148.3	399.9	144.9	109.9	41.0	23.0	20.0
Milchkühe Sommer	191	6.61	182.6	515.6	143.7	214.0	58.54	26.6	30.5

- 2) Die **Rationsmerkmale RP g/kg TS, RP/NEL, N/VOS, PMN-PME g/kg TS** und **g/Tag** sind alle **positiv mit der Harn-N-Menge korreliert** ohne einen wesentlichen Einfluss auf den Kot-N auszuüben. Die Schätzung der Harn-N-Menge aus den einzelnen Rationsmerkmalen quer durch alle Datensätze weist Bestimmtheitsmasse (R^2) von 0.52-0.74 für Winterrationen und von 0.35-0.57 für Sommerrationen auf, bei allerdings grossen Reststreuungen.
- 3) Die direkte **Schätzung des Harn-N aus dem Milchwahstoffgehalt** führt je nach Versuch zu Unterschieden in den Kurvenverläufen. Die Beziehung ist je nach Datensatz nicht linear sondern eine Potenzfunktion mit Bestimmtheitsmassen zwischen 0.63-0.82 (Abb.64). Mit steigendem Milchwahstoffgehalt nimmt die Schätzungenauigkeit zu. Bei gleichem Milchwahstoffgehalt ergeben sich zwischen Versuchen im Mittel Niveauunterschiede von 50 g Harn-N/Tag.
- 4) Die Aufteilung der Datensätze nach Rationstyp verschiebt die Gleichung zur Schätzung der Harn-N-Menge aus dem Milchwahstoff bei Sommerrationen auf ein höheres Niveau. Über alle Datensätze gepoolt, erklärt die Variation im Milchwahstoffgehalt 67 % der Varianz in der Harn-N-Menge und 56 % der Varianz in den Gesamt-N-Ausscheidungen (Abb. 64c). Die Abweichungen zur Schätzkurve können 100 g N_{tot} übersteigen.
- 5) Die **N-Exkretion/kg ECM** zeigt eine lineare Beziehung zum RP/NEL-Verhältnis der Ration, die für die Leistungsgruppe 20-30 kg ECM ein Bestimmtheitsmass von 0.67 aufweist (Abb. 65). Bei einem RP/NEL-Verhältnis von 25 g/MJ werden im Mittel 11.65 g N/kg ECM ausgeschieden.

Modellrechnungen zu N-Ausscheidungen

- 1) Das ALP-interne Jahresrationenmodell wurde mit Hilfe der Gleichung zur fäkalen vN erweitert, um den N-Anfall auf Kot-N und Harn-N aufzuschlüsseln. Die ruminale Proteinbilanz wurde als Rationsmerkmal zusätzlich aufgenommen.

- 2) In 12 Fütterungsszenarien wurden bei einer Milchleistung von 7000 kg ECM zwei Abkalbezeitpunkte, im Winter nicht-Silo und Silagerationen und im Sommer Grünfütterationen bei unterschiedlichem RP-Gehalt mit und ohne Beifutter simuliert. Als Beifutter im Sommer wurden Dürrfutter, Maissilage, Maiswürfel oder Zuckerrübenschnitzel gewählt.
- 3) Bei **Herbstabkalbung** fallen die höchsten Harn-N-Mengen während der Grünfütterung in der zweiten Laktationshälfte an, die ohne Ergänzungsfutter auf bis 350 g N steigen können.
- 4) Bei **Frühlingsabkalbung** fällt rund 70 % der Laktationsphase in die Grünfütterung, so dass während 2-3 Monaten noch Krafftutter eingesetzt werden muss, um den Energiebedarf zu decken. Gegenüber der Herbstabkalbung wird insgesamt weniger Krafftutter verbraucht. Die N-Ausscheidungen verlaufen aber über eine längere Phase auf einem hohen Niveau, so dass gesamthaft mehr N ausgeschieden wird als bei Herbstabkalbung
- 5) Mit der **Beifütterung** von proteinarmen Raufutterkomponenten im Sommer lassen sich die Harn-N-Ausscheidungen bis rund 15 % reduzieren. Die effektivste Strategie ist aber die Anpassung der **Grünfutterqualität** in Richtung eines tieferen Proteingehaltes unter Beibehaltung des Energiegehaltes.
- 6) Die absolut höchsten N-Ausscheidungen von 164 kg N/Jahr ergaben sich mit einem sehr hohen **RP-Gehalt des Grünfutters von 24.5 %**, was in intensiven Vollweidebetrieben mit Kurzrasenweide erreicht wird. Die sehr hohen Harn-N-Ausscheidungen und der hohe Harn-N-Anteil am N-Anfall von 73 % sind weniger emissionsrelevant, solange sie auf der Weide ausgeschieden werden, da der Harn rasch in den Boden infiltriert. Aber es resultiert eine schlechte **N-Effizienz von lediglich 17.3 %** auf Stufe Kuh, die mit einer erheblichen **Leberbelastung** zur Entgiftung des aus dem Pansen anflutenden Ammoniaks einhergeht.
- 7) Der **Jahresausstoss an N** und der **Harn-N** korrelieren eng mit dem gewichteten RP-Gehalt der Jahresrationen (Abb. 69), die zwischen 14.2 und 20.4 % RP variieren. Das Spektrum von 102 kg N bis 164 kg N-Anfall/Jahr bei einer Milchleistung von 7000 kg verdeutlicht, dass ein erheblicher Optimierungsspielraum in der Ausgestaltung von Fütterungsstrategien besteht.
- 8) Im Rahmen der berechneten Varianten verändert sich der N-Anfall einer Milchkuh pro **10 g Unterschied im RP-Gehalt** der Jahresration um **10 kg N** (7.8 %) und der **Harn-N** um **9.5 kg** (12.3%) pro Jahr.

Modellrechnungen zu NH₃-Emissionen

- 1) Die Kot-N- und Harn-N-Mengen obiger Fütterungsszenarien wurden als Inputvariablen in einem dem Agrammon nachgebildeten Excel-Modell verwendet. Die NH₃-Jahresemissionen wurden für die Systeme Vollstall, Teilweide und Vollweide über alle Emissionsstufen berechnet.
- 2) Die NH₃-Jahresemissionen variieren zwischen 21.0 und 70.6 kg N und in den Teilweideszenarien zwischen 31.7 und 48.2 kg N. Bezogen auf den N-Anfall verflüchtigt sich 17.3 % bis 43 % des N_{tot} und bis 63.6 % des Harn-N. Die durchschnittlichen Stallemissionen pro Kuh belaufen sich auf 19.6 bis 52.4 g N/Tag (ohne Extremvariante).
- 3) Innerhalb der **Teilweidevarianten** bestehen hohe Korrelationen zwischen den NH₃-Jahresemissionen und dem N-Anfall, dem Harn-N-Anfall und Harn-N-Anteil an N_{tot} (Abb. 71) sowie dem RP-Gehalt und RP/NEL-Verhältnis der Ration (Abb. 72). Aus dieser Beziehung lassen sich folgende NH₃-Reduktionspotenziale ableiten:

- pro kg tiefere N-Exkretion → 0.42 kg weniger NH₃-N
- pro kg tieferer Harn-N-Anfall → 0.47 kg weniger NH₃-N
- pro % tieferer Harnanteil an N-Ausscheidungen → 1.3 kg weniger NH₃-N
- pro g weniger RP-Gehalt in Jahresration → 0.44 kg weniger NH₃-N
- pro g weniger RP/NEL in Jahresration → 2.68 kg weniger NH₃-N

- 4) In den Vollweidevarianten können die NH₃-Jahresemissionen gegenüber den entsprechenden Teilweidevarianten (6 h) um 42 bis 60 % reduziert werden.
- 5) **Pro Stunde Weidegang** vermindern sich die Emissionen im Sommer (210 Tage) über alle Emissionsstufen aufaddiert um rund **1.3 kg NH₃-N**.
- 6) Der emissionsmindernde Beitrag der **Weidestrategie** konnte gezeigt werden. Dieser Effekt würde mit dem **Milchharnstoff als alleinigem Indikator ungenügend** erfasst. Für Weidegang müssten Korrekturfaktoren definiert werden.
- 7) Die Einschätzung der Grünfutterqualität hat auf die Berechnung der NH₃-Jahresemissionen einen grossen Einfluss. Die Häufigkeitsverteilung von praxisüblichen Grünfutterrationen lässt sich nur über zusätzliche Erhebungen schlüssig abschätzen.

5.2. Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh in kantonalen Ressourcenprogrammen

Für die vollzugstaugliche Berücksichtigung von Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh in kantonalen Ressourcenprogrammen gibt es grundsätzlich die folgenden Möglichkeiten:

- Wahl eines **Produktionssystems**, welches eine deutliche und sichere Emissionsreduktion garantiert und dessen Einhaltung ohne grossen Aufwand kontrolliert werden kann. Dies trifft für die folgenden zwei Systeme zu:
 - Vollweidehaltung mit rund 20 Weidestunden pro Tag während der ganzen Sommerfütterungsperiode.
 - Eine ausgewogene Ration mit proteinarmen Komponenten (z.B. TMR-Fütterung) mit maximal 15 % Rohproteingehalt der Jahresration.
- Ein **Punktesystem**, welches auch Fütterungsmassnahmen berücksichtigt, deren einzelne Wirkung weniger deutlich und nicht direkt, sondern nur durch Indikatoren und geeignete Kontrollen überprüfbar ist.

Die Vollweidestrategie basiert auf dem Wirkungsprinzip, dass während der Sommerfütterung der grösste Teil der tierischen Ausscheidungen auf der Weide anfällt und der Harn versickert, bevor der Harnstoff zu TAN (NH_3 und NH_4^+) abgebaut wird. Auch wenn die Vollweidehaltung, besonders bei Kurzrasenweide, oft einen im Vergleich zu anderen Rationen deutlich erhöhten Proteingehalt der Ration zur Folge hat, ist die Reduktion der Ammoniakemissionen garantiert und beträchtlich: ca. -40 % bezogen auf die Jahresration bzw. >-50 % bezogen auf die Sommerfütterung. Allerdings birgt die Vollweidehaltung das Risiko, dass die N-Effizienz des Betriebes verringert wird, weil der von den Tieren auf der Weide ausgeschiedene Stickstoff in der Düngung wegen der ungleichmässigen Verteilung nicht voll angerechnet werden kann. Anders als bei anderen Fütterungsmassnahmen ist die Einhaltung der Vollweide gut beurteilbar, da sie von Anwohnern jederzeit bestätigt werden kann. Die Vollweidestrategie ist grundsätzlich für alle Rindviehkategorien ausser Mastkälber möglich. In der Rindviehmast bedingt sie allerdings eine längere Mastdauer, da die Weidemast mit einem geringeren Energiegehalt der Ration und einem entsprechend geringeren Tageszuwachs verbunden ist, im Vergleich zu üblichen Mastrationen.

Eine Totalmischration (TMR) erlaubt eine einfachere Anpassung des Energie/Proteinverhältnisses an den Bedarf. Die Emissionswirkung liegt bei ca. -20 % oder mehr, vorausgesetzt, dass der Rohproteingehalt der Jahresration unter 15 % liegt. Die Einhaltung dieser Grenze kann über die Mischungsrezeptur und allenfalls einzelne unangekündigte Kontrollen relativ zuverlässig und einfach beurteilt werden. TMR wird hauptsächlich für

Milchkühe und in der Rindviehmast eingesetzt und ist nur auf Betrieben mit Maissilage sinnvoll, arbeitswirtschaftliche Überlegungen einmal ausgeklammert.

Vermehrtes Weiden ist auch dann eine sinnvolle Massnahme, wenn nicht auf Vollweide umgestellt wird. In unsere Berechnungen wurde als Basis 6 h Weide pro Tag während 210 Weidetagen angenommen. Wird 12 h pro Tag geweidet (auch an 210 Tagen) vermindern sich die Emissionen bereits um rund 20 % bezogen auf die Jahresemissionen bzw. gut 25 % bezogen auf die Emissionen während der Sommerfütterungsperiode. Welche Emissionsminderung auf einem Betrieb durch vermehrtes Weiden erzielt wird, ist weniger zuverlässig einzuschätzen als bei Vollweide, da die effektive Weidedauer schwierig zu kontrollieren ist.

Andere einfache Fütterungsmassnahmen umfassen hauptsächlich die Beifütterung von proteinarmen Raufutterkomponenten während der Grünfütterungsperiode oder von Maiswürfeln während der Winterfütterung. Diese Massnahmen bringen zwar nur eine Emissionsreduktion von 5 - 10 %. Im Rahmen von Ressourcenprogrammen, welche auch andere emissionsrelevante Komponenten enthalten, können sie aber gleichwohl eine sinnvoll Ergänzung sein. Die Herausforderung dabei liegt in der Beurteilung, ob die Fütterung wirklich so organisiert ist, dass eine Emissionsreduktion resultiert. Da eine direkte Beurteilung der Futter- und Proteinaufnahme oder der N-Ausscheidung im Harn nicht möglich ist, müssen Indikatoren verwendet werden. Theoretisch wäre das RP/NEL Verhältnis oder der Rohproteingehalt der Ration möglich. Da diese aber schwanken und nicht mit vernünftigem Aufwand zuverlässig bestimmt werden können, bleibt hauptsächlich der Milchharnstoffgehalt als möglicher Indikator. Wie die Auswertungen der verschiedenen Schweizer Versuche gezeigt hat, besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Milchharnstoffgehalt und den N-Ausscheidungen im Harn, und somit dem Emissionspotenzial. Voraussetzung ist aber, dass flächendeckend solche Analysen vorhanden sind (Herdendurchschnitt oder ev. Tankprobe) und dass nicht nur die IR-Routineanalyse (wie von den Zuchtverbänden verwendet) sondern eine enzymatische Analyse oder eine andere noch zu entwickelnde vergleichbare Methode eingesetzt würde. Ob dies realistisch ist, muss bei der Planung von Ressourcenprogrammen beurteilt werden. Auch die Festlegung eines sinnvollen Grenzwertes müsste noch näher diskutiert werden. Auf der Basis der durchgeführten Abklärungen scheint beispielsweise ein Wert von <25 mg/dl sinnvoll. Ferner müsste genau festgelegt werden, was für Auswirkungen eine Überschreitung des Grenzwertes hätte, da eine solche mit witterungsbedingten Schwankungen im Rohproteingehalt des Futters auftreten kann, auch wenn die Fütterung gemäss Empfehlungen erfolgt.

Selbstverständlich kann Proteinüberschuss im Grundfutter auch durch vermehrten Krafffuttereinsatz vermindert werden. Wie weit dies sinnvoll ist, muss einzelbetrieblich beurteilt

werden unter Berücksichtigung der verfügbaren Futtergrundlage, der Milchleistung, der Nährstoffbilanz und den Neigungen des Betriebsleiters. Vermutlich würde die Festlegung eines verbindlichen Grenzwertes für den Milchharnstoffgehalt unter anderem zu einer Erhöhung des Krafftutereinsatzes auf vielen Betrieben führen.

Anders als bei Vollweide und TMR-Fütterung müssten vermehrtes Weiden und die Beifütterung proteinarmer Raufutterkomponenten oder ein erhöhter Krafftutereinsatz über ein Punktesystem beurteilt werden, welches eine betriebsspezifische Kombination von Massnahmen und unterschiedlich ehrgeizige Ziele berücksichtigen kann. Selbstverständlich könnten auch Vollweide und TMR in einem solchen Punktesystem berücksichtigt werden.

Fast alle diskutierten möglichen Massnahmen beziehen sich hauptsächlich oder ausschliesslich auf die Sommerfütterung. Entsprechend könnte geprüft werden, ob nur die Sommerfütterungsperiode in entsprechenden Ressourcenprogrammen berücksichtigt werden soll. Dies könnte den Aufwand für den Vollzug etwas vermindern, würde aber nichts ändern an den grundsätzlichen Anforderungen, wie einzelbetriebliche Kontrolle, geeignete Indikatoren, ev. enzymatisch bestimmte Milchharnstoffanalyse.

Bei der Gestaltung entsprechender Ressourcenprogramme muss man sich bewusst sein, dass der Spielraum von emissionsrelevanten Fütterungsmassnahmen je nach betriebsspezifischen Voraussetzungen sehr unterschiedlich sein kann. Vermehrtes Weiden beispielsweise kann durch die Parzellierung erschwert werden. Vollweide und TMR werden zusätzlich durch die möglichen Absatzkanäle eingeschränkt (Akzeptanz der ungleichmässigen Verteilung durch Milckäufer, Mehrkosten durch andere Hofabfuhr als bei anderen Produzenten der Region, etc.). Weiter ist es für Betriebe mit Ackerbau einfacher, proteinarmer Raufutterkomponenten einzusetzen. Am schwierigsten und am wenigsten wirkungsvoll sind Massnahmen wohl für Silobetriebe ohne Maisanbau und auf Betrieben mit grasbetonter Sommerfütterung aber eingeschränkten Möglichkeiten für vermehrtes Weiden. Auch klee- und kräuterreiche Wiesenbestände können den Erfolg von Fütterungsmassnahmen zur Reduktion der Ammoniakemissionen einschränken.

5.3. Forschungsbedarf

Die nachfolgende Zusammenstellung fasst den Forschungsbedarf zusammen, der sich aus Kenntnislücken und neuen Stossrichtungen ergibt. Priorität wird Punkt 1-3 gegeben.

1. Pansenfunktion /Pansenphysiologie / Futterbewertung Raufutter

- Optimierung der mikrobiellen Proteinsynthese
- Messung der Proteinsynthese, Indikatoren
- Abbaukinetik Protein, Kohlenhydrate
- Einbezug neuer Parameter in Raufutterbewertung, Erarbeitung von in-vitro Methoden
- Faktoren, welche die Abbaukinetik und Proteinsynthese am meisten beeinflussen
- Massnahmen Fütterung: Synchronisation im weiteren Sinn
- Spezielle Futterzusätze: Tannine, Saponine, Öle

2. Ammoniak

- Stallemissionen bei unterschiedlicher Fütterung und Stallsystemen
- Emissionen bei Weidehaltung: Teilweide, Vollweide

3. Grünfutter-Enquête

- Qualität gesamtschweizerisch: bestehende Datenquellen zusammenführen, Lücken mit gezielten Erhebungen schliessen
- Einfluss Düngung, Nutzung, Produktionsintensität, Höhenstufe, Saison
- Praxis der Ergänzungsfütterung im Sommer

4. Analytik Milchharnstoff, Rasseneffekte

5. Harn-, Kot- und Milchmarker

- Fettsäuremuster der Milch und Bezug zu Pansenbakterien

6. Grassilage

- Proteinqualitätskriterien: Proteinabbau, NPN-Anteil, freie Aminosäuren
- Beeinflussungsmöglichkeiten: Tannine als Silierzusatz

7. Futterbau

- Tanninhaltige Futterpflanzen und Weidetauglichkeit
- Abbaubarkeit des RP als Selektionskriterium?
- Optimierung zwischen RP/Kohlenhydrat (NDF, WSC) -Verhältnis

8. Verzehrmodelle / Herdenmodelle

- Verfeinerung Verzehrscätzung (Hitzedepression, Frühjahrsweide, TMR)
- Verzehrscätzung auf Stufe Herde (Herdenstruktur, Abkalbeverteilung)

9. Pilotbetriebe / Testbetriebe: Anwendung emissionsarmer Fütterung

- N-Flüsse und N-Emissionen Gesamtbetrieb

- N-Effizienz: Tier, Tierkategorie, Herde, Fläche, Betrieb
- Erfassung der Hofdüngerzusammensetzung und Veränderung
- Erfassung der Raufutterqualität und Veränderung

10. Gesamtbetrieblicher Ansatz / Emissionsmodell

- Ausbau Jahresrationenmodell
- Ausbau Agrammon im Bereich Fütterung
- Integration in ein einzelbetriebliches Emissionsmodell : NH₃, Methan, Lachgas, CO₂, Nitrat, Mineralstoffe
- Erarbeitung von Nachhaltigkeitsindikatoren

6. Literatur

- Abrahamse, S. 2009. Feeding and grazing management for dairy cattle: opportunities for improved production. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Achermann, B., Bonjour, C., Kupper, T., Menzi, H., Nyfeler-Brunner, A., Rihm, B., Zaucker, F., 2009. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990-2007. Tagungsband zur Fachtagung Ammoniak- und Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft: Inventare und Programme zu deren Minderung. Zollikofen 10. September 2009, 70 S. <http://agrammon.ch/downloads/>
- Agrammon 2009. Technische Parameter Modell Agrammon. Tierkategorien, Stickstoffausscheidungen der Tiere, Emissionsraten, Korrekturfaktoren <http://agrammon.ch/downloads/>
- Arrigo, Y., Scharenberg, A. 2008. Détermination de la valeur nutritive de plantes riches en tanins. Schriftenreihe Institut für Nutztierwissenschaft, ETHZ, Tagungsband 30, S. 147-150.
- Bach, A., Calsamiglia, S., Stern, M.D., 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. *J Dairy Sci.* 88: (E. Suppl.):E9-E21.
- BAFU und BLW, 2008. Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0820. Bundesamt für Umwelt, Bern, 221 S.
- Baker, L.D., Ferguson, J.D., Chalupa, W., 1995. Response in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J Dairy Sci.* 78: 2424-2434.
- Bannink, A., Valk, H., Van Vuuren, A.M., 1999. Intake and excretion of sodium, potassium and nitrogen and the effects on urine production by lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 82: 1008-1018.
- Bannink, A., Hindle, V.A., 2003. Prediction of N intake and N excretion by dairy cows from milk data (in Dutch). Report 03 0008567, Animal Science Group. Lelystad, The Netherlands.
- Bargo, F., Muller, L.D., Delahoy, J.E., Cassidy, T.W., 2002a. Milk response to concentrate supplementation of high producing dairy cows grazing at two pasture allowances. *J Dairy Sci.* 85: 1777-1792.
- Bargo, F., Muller, L.D., Varga, G.A., Delahoy, J.E., Cassidy, T.W., 2002b. Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J Dairy Sci.* 85: 2948-2963.
- Bargo, F., Muller, L.D., Varga, G.A., Delahoy, J.E., Cassidy, T.W. 2002c. Ruminant digestion and fermentation of high-producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J Dairy Sci.* 85: 2964-2973.
- Bargo, F., Muller, L.D., Kolver, E.S., Delahoy, J.E. 2003. Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *J Dairy Sci.* 86: 1-42.
- Bastin, C., Laloux, L., Gillon, A., Miglior, F., Soyeurt, H., Hammani, H., Bertozzi, C., Gengler, N., 2009. Modeling milk urea of Walloo dairy cows in management perspectives. *J Dairy Sci.* 92: 3529-3540.
- Bell, A.W., Slepatis, R., Ehrhardt, R.A., 1995. Growth and accretion of energy and protein in the gravid uterus during late pregnancy in Holstein cows. *J Dairy Sci.* 78: 1954-1961.

- Berry, N.R., 2000. Production efficiency and nutrient cycling of Brown Swiss dairy and Scottish Highland sucklers on high altitude pastures under varied feeding conditions. Diss. ETH Nr. 13727, Zürich.
- Bracher, A. und Spring, P., 2010. Möglichkeiten zur Reduktion der Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen bei Schweinen. Schlussbericht einer Vorstudie von SHL und ALP zuhanden des BLW.
- Brand, D. 2010. Einfluss von zuckerreichem Dürrfutter auf die Pansenfermentation und das Kauverhalten von laktierenden Kühen. Masterarbeit ETH Zürich.
- Broderick, G.A., Clayton, M.K., 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *J Dairy Sci.* 80: 2964-297.
- Broderick, G.A., Mertens, D.R., Simons, R., 2002. Efficacy of carbohydrate sources for milk production by cows fed diets based on alfalfa silage. *J Dairy Sci.* 85: 1767-1776.
- Broderick, G.A., 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 86: 1370-1381.
- Burgos, S.A., Fadel J.G., DePeters E.J., 2007. Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea nitrogen: Relation of milk urea nitrogen to urine urea nitrogen excretion. *J Dairy Sci.* 90: 5499-5508.
- 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 emission. *J Dairy Sci.* 93: 2377-2386.
- Cabrita, A.R.J., Dewhurst, R.J., Abreu, J.M.F., Fonseca, A.J.M. 2006. Evaluation of the effects of synchronizing the availability of N and energy on rumen function and production responses of dairy cows – a review. *Anim. Res.* 55: 1-24.
- Calsamiglia, S., Ferret, A., Reynolds, C.K., Kristensen, N.B., van Vuuren, A.M., 2010. Strategies for optimizing nitrogen use in ruminants. *Animal*, 4: 1184-1196.
- Carlsson, J., Bergström, J., Pehrson, B., 1995. Variation with breed, age, yields, stage of lactation and herd in the concentration of urea in bulk milk and individual cow's milk. *Acta vet. Scand.* 36: 245-254.
- Castillo, A. R. , Kebreab, E., Beever, D.E., Barbi, J.H., Sutton, J.D., Kirby H.C., France, J., 2001. The effect of energy supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J Anim Sci.* 79: 240-246.
- Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D.E., Barbi, J.H., Sutton, J.D., Kirby H.C., France, J., 2001. The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J Anim Sci.* 79: 247-253.
- Chambaut, H., Raison, C., Le Gall, A., Pflimlin, A. 2007. Nitrogen fluxes in intensive dairy farms of the west Atlantic coast: diagnosis, improvements and level of losses. Main results from the Green Dairy European project. *Renc. Rech. Ruminants*, 14: 37-40.
- Cole, N.A., Todd, R.W., 2008. Opportunities to enhance performance and efficiency through nutrient synchrony in concentrate-fed ruminants. *J Anim Sci.* 86: E318-E333.
- Cortés, J.E., Moreno, B., Pabon, M.L., Avila, P., Kreuzer, M., Hess, H.D., Carulla, J.E. 2009. Effects of purified condensed tannins extracted from *Callindra*, *Flemingia* and *Leucaena* on ruminal and post-ruminal degradation of soybean meal as estimated in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 151: 194-204.

- De Boer, I.J.M., Smits, M.C.J., Mollenhorst, H., van Duinkerken, G., Monteny, G.J., 2002. Prediction of ammonia emission from dairy barns using feed characteristics part 1: Relation between feed characteristics and urinary urea concentration. *J Dairy Sci.* 85: 3382-3388.
- De Brabander, D.L., Botterman, S.M., Vanacker, J.M., Bouqué, CH.V., 1998. Milk urea content in relation to energy and protein feeding of dairy cattle as well as to N-excretion. *Renc. Rech. Ruminants*, 5: 228.
- De Campeneere, S., De Brabander, D.L., Vanacker, J.M., 2006. Milk urea concentration as affected by the roughage type offered to dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 103: 30-39.
- De Campeneere, S., De Boever, J.L., Vanacker, J.M., Messens, W., De Brabander, D.L. 2009. Feeding measures to reduce nitrogen excretion in dairy cattle. *Archives of Animal Nutrition*, 63: 87-103.
- Delagarde, R., Peyraud, J.L., Delaby, L., Faverdin, P. 2000. Vertical distribution of biomass, chemical composition and pepsin-cellulase digestibility in a perennial ryegrass sward: interaction with month of year, regrowth age and time of day. *Animal Feed Science and Technology*, 84: 49-68.
- DePeters, E.J., Ferguson, J.D., 1992. Nonprotein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. *J Dairy Sci.* 75: 3192-3209.
- Dohme F., Arrigo, Y. 2009. Esparsette als Beifutter für weidende Milchkühe. ALP-Tagung Posieux.
- Dove, H., Mayes. R.W., 2005. Using n-alkanes and other plant wax components to estimate intake, digestibility and diet composition of grazing/browsing sheep and goats. *Small Ruminant Research.* 59: 123–139
- EKL. 2005. Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, Ed)), Schriftenreihe Umwelt Nr. 384, Bern, 168 S.
- EPMAN (Expert Panel on Mitigating Agricultural Nitrogen). 2009. Draft proposal for revision of the "Guidance Document for preventing and abating ammonia emissions from Agricultural sources. Stand September 2009, heruntergeladen am 16.2.2010 von <http://www.clrtap-tfrn.org/EPMAN-3-info>.
- Estermann, Beda L., 2001. Nutrient cycling in suckler beef systems including alpine grazing. Breed and calving season effects and comparison with other livestock system options. Diss. ETH Nr. 14228. Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG.
- EVD, Eidgenössische Volkswirtschaftsdepartement, 2010. Bundesrat legt Schwerpunkt zur künftigen Agrarpolitik fest. Medienmitteilung EVD, 17.9.2010. <http://www.evd.admin.ch>.
- Faverdin, P., Vérité, R., 1998. Utilisation de la teneur en urée du lait comme indicateur de la nutrition protéique et des rejets azotés chez la vache laitière. *Renc. Rech. Ruminants*, 5: 209-212.
- Frank, B., Persson, M., Gustafsson, G., 2002. Feeding dairy cows for decreased ammonia emission. *Livest. Prod. Sci.* 76: 171-179.
- Flachowsky, G., Lebzien, P., 2006. Possibilities for reduction of Nitrogen (N) excretion from ruminants and the need for further research – a review. *Landbauforschung Völkenrode* 1/2, 56: 19-30.

- Flückiger, E. 1989. Stickstoff- und Mineralstoffumsatz von Milchkühen in Abhängigkeit von Rationstyp und Produktionsphase unter besonderer Berücksichtigung umweltrelevanter Aspekte. Diss. ETH Nr. 8865, Zürich.
- Frank, B., Persson, M., Gustafson, G. 2002. Feeding dairy cows for decreased ammonia emission. *Liv. Prod. Sci* 76: 171-179.
- Frey, H., Thomet, P. 2011. Die hohe Kunst der Milchviehfütterung. *UFA-Revue* 3: 66-67.
- GfE, Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 2001. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG Verlag.
- Gosselink, Jules M.J. 2004. Alternatives for forage evaluation in ruminants. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Gozho, G.N., Hobin, M.R., Mutsvangwa, T., 2008. Interactions between barley grain processing and source of supplemental dietary fat on nitrogen metabolism and urea-nitrogen recycling in dairy cows. *J Dairy Sci.* 91: 247-259.
- Graf, Christof. Experimental determination of the fibre effectiveness of forages in ruminants with special emphasis on pasture grass. Diss. ETH N° 15941, Zürich.
- Groff, E.B., Wu, Z. 2005. Milk production and nitrogen excretion of dairy cows fed different amounts of protein and varying proportions of alfalfa and corn silage. *J Dairy Sci.* 88: 3619-3632.
- Gustafsson, A.H., Palmquist, D.L. 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea, and milk urea in dairy cows at high and low yields. *J Dairy Sci.* 76: 475-484.
- Guidon, Daniel. 1989. Die Proteinversorgung der Kuh bei Laktationsbeginn. Diss. ETH Nr. 8919, Zürich.
- Hall, M.R., Huntington, G.B. 2008. Nutrient synchrony: sound in theory, elusive in practice. *J Anim Sci.* 86(E. Suppl.): E287-E292.
- Hartung, Eberhard, 2002. Ammoniak-Emissionen der Rinderhaltung und Minderungsmaßnahmen. In: Emissionen der Tierhaltung. KTBL-Schrift 406, Darmstadt, 374 S.
- Hindrichsen, Ida K., 2005. Methanogenesis in dairy cows and their slurry as affected by diet type and carbohydrate characteristics. Diss. ETH Nr. 15852, Zürich.
- Hoedtke, S., Gabel, M., Zeyner, A. 2010. Der Proteinabbau im Futter während der Silierung und Veränderung in der Zusammensetzung der Rohproteinfraktion. *Uebers. Tierernährg.* 38: 157-179.
- Hof, G., Vervoorn, M.D., Lenaers, P.J., Tamminga, S., 1997. Milk urea nitrogen as a tool to monitor the protein nutrition of dairy cows. *J Dairy Sci.* 80: 3333-3340.
- Hristov, A.N., Etter, R.P., Ropp, J.K., Grandeén, K.L., 2004. Effect of dietary crude protein level and degradability on ruminal fermentation and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J Anim Sci.* 82: 3219-3229.
- Hristov, A.N., Ropp, J.K., Grandeén, K.L., Abedi, S., Etter, R.P., Melgar, A., Foley, A. E., 2005. Effect of carbohydrate source on ammonia utilization in lactating dairy cows. *J Anim Sci.* 83: 408-421.

- Hristov, A.N., Jouany, J.-P., 2005. Factors affecting the efficiency of nitrogen utilization in the rumen. In: Nitrogen and phosphorous nutrition of cattle (eds Pfeffer E. and Hristov A.N.). CAB international. S 117-166.
- Huntington, G.B., Archibeque, S.L., 1999. Practical aspects of urea and ammonia metabolism in ruminants. Proceedings of the American Society of Animal Science, 1-11.
- Huijsmans, J.F.M., 2003. Manure application and ammonia volatilization. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- Huhtanen, P., Hristov, A.N. 2009. A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. J Dairy Sci. 92: 3222-3232.
- Jonker, J.S., Kohn, R.A., Erdman, R.A., 1998. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. J Dairy Sci. 81: 2681-2692.
- Kauffman, A.J., St-Pierre, N.R., 2001. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. J Dairy Sci. 84: 2284-2294.
- Kebreab, E., France, J., Beever, D.E., Castillo, A.R., 2001. Nitrogen pollution by dairy cows and its mitigation by dietary manipulation. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 60: 274-285.
- Kehraus, S., Südekum, K.H., Pfeffer, E., 2006. Einflussfaktoren auf die Ausscheidung N-haltiger Verbindungen im Harn von Wiederkäuern. Uebers. Tierernährung. 34: 125-164.
- Kirchgessner, M., Roth-Maier, A., Röhrmöser, G., 1985. Harnstoffgehalte in Milch von Kühen mit Energie- bzw. Proteinmangel und anschließender Realimentation. Z.Tierphysiol., Teirernährg. Und Futtermittelkde. 53: 264-270.
- Kohn, R.A., Kalscheur, K.F., Russek-Cohen, E., 2002. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. J Dairy Sci. 85: 227-233.
- Kolver, E., Muller, L.D., Varga, G.A., Cassidy, T.J., 1998. Synchronization of ruminal degradation of supplemental carbohydrate with pasture nitrogen in lactating dairy cows. J Dairy Sci. 81: 2017-2028.
- König, K.M., Newbold, C.J., McIntosh, E.M., Rode, L.M., 2000. Effects of protozoa on bacterial nitrogen recycling in the rumen. J. Anim. Sci. 78: 2431-2445.
- König, S., Chang, Y.M., v. Borstel, U.U., Gianola, D., Simianer, H. 2008. Genetic and phenotypic relationships among milk urea nitrogen, fertility, and milk yield in Holstein cows. J Dairy Sci. 91: 4372-4382.
- Kreuzer, M., Kröber, T.F. and Sutter, F., 1999. Evaluation of the suitability of milk urea amount to estimate urinary nitrogen excretion of cows. In: Book of Abstracts of the VIIth Int. Symp. Protein Metabolism and Nutrition (G.E. LOBLEY, A. WHITE and J.C. MACRAE, eds.), Wageningen Pers, 97 (Abstr.).
- Kröber, T. F., Steingass, H., Funk, R., Drochner, W., 1999. Einflüsse unterschiedlicher Rohproteingehalte in der Ration auf Grundfutteraufnahme, Verdaulichkeit, N-Ausscheidungen und Leistung von Milchkühen über den Zeitraum einer Laktation. Züchtungskunde, 71: 182-195.

- Kröber, Thomas F., 2000. Methionine, lysine and leucine in dairy cows: limitations and their use to improve protein utilisation and minimise nitrogen losses from manure. Diss. ETH Nr. 13568, Zürich.
- Külling, David R., 2000. Influence of feed composition and manure type on trace gas emissions from stored dairy manure. Diss. ETH Nr. 13872, Zürich.
- Lapierre, H., Berthiaume, D., Raggio, R., Thiverge, MC., Doepel, L., Pacheco, D., Dubreuil, P., Lobley, GE., 2005. The route of absorbed nitrose into milk protein. *Animal Science*, 80: 11-22.
- Lebzien, P., Riemeier, A., Flachowsky, G., 2006. Investigation on the effect of ruminal N-balance on rumen metabolism, urea content in blood serum and milk as well as some liver parameters of lactating cows. *Archives of Animal Nutrition*, 60: 99-109.
- Lebzien, P., Brade, W., Flachowsky, G., 2008. Der Milchharnstoffgehalt: Ein Indikator für die Energie- und Proteinversdorgung, aber auch für die N-Emissionen in der Milcherzeugung. *Uebers. Tierernährung* 36, 59-74.
- Leiber, Florian, 2005. Causes and extent of variation in yield, nutritional quality and cheese-making properties of milk by high altitude grazing of dairy cows. Diss ETH Nr. 15735, Zürich.
- Menzi, H., Frick, R., Kaufmann, R. 1997a. Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmass und technische Beurteilung des Reduktionspotentials. Schriftenreihe der FAL 26. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich Reckenholz, 107 S.
- Miglior, F., Sewalem, A., Jamrozik, J., Lefebvre, M., Moore, R.K., 2006. Analysis of milk urea nitrogen and lactose and their effect on longevity in Canadian dairy cattle. *J Dairy Sci.* 89: 4886-4894.
- Misselbrook, T.H., Powell, J.M., Broderick, G.A., Grabber, J.H. 2005. Dietary manipulation in dairy cattle: laboratory experiments to assess the influence on ammonia emissions. *J Dairy Sci.* 88: 1765-1777.
- Mitchell, R.G., Rogers, G.W., Dechow, C.D., Vallimont, J.E., Cooper, J.B., Sander-Nielsen, U., Clay, J.S., 2005. Milk urea nitrogen concentration: heritability and genetic correlations with reproductive performance and disease. *J Dairy Sci.* 88: 4434-4440.
- Monteny, G.J., Smits, M.C.J., van Duinkerken, G., Mollenhorst, H., de Boer, I.J.M., 2002. Prediction of ammonia emission from dairy barns using feed characteristics part 2: Relation between urinary urea concentration and ammonia emission. *J Dairy Sci.* 85: 3389-3394.
- Muscher, A.S., Schröder, B., Breves, G., Huber, K. 2010. Dietary nitrogen reduction enhances urea transport across goat rumen epithelium. *J Anim Sci.* 88: 3390-3398.
- Münger, Andreas, 1997. Energie- und Stickstoffverwertung bei Milchkühen verschiedener Rassen. Diss. ETH Nr. 11929, Zürich.
- Münger A., 2007. Energiebetonte Krafftutterergänzung zu Vollweide. ALP-Tagung 28.9.07, Posieux.
- Münger A., 2008. Energieergänzung unterschiedlichen Typs bei Milchkühen auf Vollweide. Forum angewandte Forschung, Fulda
- Münger A., 2009. Pauschale oder leistungsangepasste Vorlage von Ergänzungsfutter bei Milchkühen auf Vollweide. Forum angewandte Forschung, Fulda.

- Ndegwa, P.M., Hristov, A.N., Arogo, J., Sheffield, R.E., 2008. A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. *Biosystems Engineering*, 100: 453-469.
- Nennich, T.D., Harrison, J.H., VanWieringen, L.M., Meuyer, D., Heinrichs, A.J., Weiss, W.P., St-Pierre, N.R., Kinaid, R.L., Davidson, D.L., Block, E. 2005. Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. *J Dairy Sci.* 88: 3721-3733.
- Nousiainen, J., Shingfield, K.J., Huhtanen, P., 2004. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *J Dairy Sci.* 87: 386-398.
- Nydegger, F., Ammann, H., Mriz, C., Rutishauser, R. 2005. Was bringt das Mischen der Grundration für Milchkühe? *Fat-Berichte Nr. 632*, 1-8.
- Olmos Colmenero, J.J., Broderick, G.A. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 89: 1704-1712.
- Pacheco, D., Lowe, K., Burke, J.L., Cosgrove, G.P. 2009. Urinary nitrogen excretion from cows at different stage of lactation grazing different ryegrass cultivars during spring or autumn. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 69: 196-200.
- Peter, Simon. 2006. Der schweizerische Stickstoff-Haushalt. *Agrarforschung*, 13 (11-12), 476-481.
- Peyraud, J-L. 2008. Applied models to quantify N flows in dairy herds and dairy farms. EU FP7 Project REDNEX Workshop. Vilnius, Lithuania. <http://www.rednex-fp7.eu/pgs/Publications.html>.
- Peyraud, J-L., Van den Pol-van Dasselaar, A., Dillon, P., Delaby, L. 2010. Producing milk from grazing to reconcile economic and environmental performances. EGF 2010, Kiel. <http://www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de/egf2010/>
- Piccand, V., Schori, F., Troxler, J., Wanner, M., Thomet, P. 2011. Projekt Weidekuhgenetik: Problemstellung und Beschreibung des Versuchs. *Agrarforschung Schweiz* 2(5): 200-205.
- Powell, J.M., Broderick, G.A., Misselbrook, T.H. 2008. Seasonal diet affects ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *J Dairy Sci.* 91: 857-869.
- Rajala-Schultz, P.J., Saville, W.A. 2003. Sources of variation in milk urea nitrogen in Ohio dairy herds. *J Dairy Sci.* 86: 1653-1661.
- Reidy, B., Menzi, H. 2006. Reduktionspotenzial der landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen. Technischer Schlussbericht zuhanden BUWAL. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Zollikofen Bern.
- Reijs, J.W., 2007. Improving slurry by diet adjustments: a novelty to reduce N losses from grassland based dairy farms. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands
- Reis, R.B., Combs, D.K. 2000. Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J Dairy Sci.* 83: 2888-2898.
- Reynal, S.M., Broderick, G.A. 2005. Effect of level of rumen-degraded protein on production and nitrogen metabolism in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 88: 4045-4064.
- Reynolds, C.K., Kristensen, N.B. 2008. Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: An asynchronous symbiosis. *J Anim Sci.* 86: E293-E305.

- Richardt, W. 2004. Milchinhaltstoffe als Indikatoren für die Fütterung und Gesundheit von Milchkühen. Themen zur Tierernährung, Fachtagung 2003/04. www.vilomix.com.
- Roseler, D.K., Ferguson, J.D., Sniffen, C.J., Herrema, J. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *J Dairy Sci.* 76: 525-534.
- Rotz, C.A. 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *J Anim Sci.* 82: E119-137.
- Ryan, W., Hennessy, D., Murphy, J.J., Boland, T.M., Shalloo, L. 2011. A model of nitrogen efficiency in contrasting grass-based dairy systems. *J Dairy Sci.* 94: 1032-1044.
- Satter, L.D., Klopfenstein, T.J., Erickson, G.E. 2002. The role of nutrition in reducing nutrient output from ruminants. *J Anim Sci.* 80(E. Suppl.2): E143-E156.
- Scharenberg, A., Kreuzer, M., Dohme, F. 2009. Suitability of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) hay as supplement to fresh grass in dairy cows. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22: 1005-1015.
- Schepers, A.J., Meijer, R.G.M. 1998. Evaluation of the utilization of dietary nitrose by dairy cows based on urea concentration in milk. *J Dairy Sci.* 81: 579-584.
- Schils, R.L.M., de Haan, M.H.M., Hemmer, J.G.A., van der Pol-van Dasselaar, A., de Boer, J.A., Evers, A.G., Holshof, G., van Middelkoop, J.C., Zom, R.L.G. 2007. DairyWise, a whole-farm dairy model. *J Dairy Sci.* 90: 5334-5346.
- Schori, F. 2010. Eignung von unterschiedlichen Holsteinlinien zur Milchproduktion in einem weidebetonten System. Interner Versuchsbericht WEGE 01 und persönliche Mitteilung, Agroscope ALP.
- Schrade, S. 2009. Ammoniak- und PM10-Emissionen im Laufstall für Milchvieh mit freier Lüftung und Laufhof anhand einer Tracer-Ratio-Methode. Dissertation Christian-Albrechts-Universität, Kiel.
- Sliwinski, Bogdan J., 2004. Efficacy of plant extracts rich in tannins, saponins, lignin or essential oils as feed supplements in ruminants. Diss ETHZ Nr. 15396, Zürich.
- Smits, M.C.J., Monteny, G.J., van Duinkerken, G., 2003. Effect of nutrition and management factors on ammonia emission from dairy cow herds: models and field observations. *Livest. Prod. Sci.* 84: 113-123.
- Spanghero, M., Kowalski, Z.M. 1997. Critical analysis of N balance experiments with lactating cows. *Livestock Prod. Sci.* 52: 113-122.
- Spiekers, H., Obermaier, A., 2007. Milchharnstoffgehalt und N-Ausscheidung. SuB Heft 4-5/07, S. III 4 – III 9.
- Stoop, W.M., Bovenhuis, H., van Arendonk, J.A.M. 2007. Genetic parameters for milk urea nitrogen in relation to milk production traits. *J Dairy Sci.* 90: 1981-1986.
- Südekum, K-H. 2010. Perspektiven für die Proteinbewertung und die praktische Proteinversorgung bei Wiederkäuern. 9. BOKU-Symposium Tierernährung, Wien. Tagungsband S 37-43.
- Susenbeth, A., 2008. Utilization and excretion of nitrogen in livestock – Key points. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 17: 172-178.
- Sutter, Franz, 1993. Einfluss einer reduzierten Proteinversorgung auf den Protein- und Energieumsatz von Milchkühen bei Laktationsbeginn. Diss. ETH Nr. 10101, Zürich.

- Swenson, C., 2003. Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. *Livest. Prod. Sci.* 84: 125-133.
- Tamminga, S., Van Straalen, W.M., Subnel, A.P.J., Meijer, R.G.M., Steg, A., Wever, C.J.G., Blok, M.C., 1994. The Dutch protein evaluation system: The DVE/OEB-system. *Livest. Prod. Sci.* 40: 139-155.
- Tamminga, S. 1996. A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *J Anim Sci.* 74: 3112-3124.
- Tamminga, S. 2003. Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production. *Livest. Prod. Sci.* 84: 101-111.
- Tas B.M. 2006. Nitrogen utilization of perennial ryegrass in dairy cows. In: *Fresh Herbage for Dairy cattle*, Elgersma A., Dijkstra J., Tamminga S. (eds), 125-140.
- Tas, B.M., Taweel, H.Z., Smit, H.J., Elgersma, A., Dijkstra, J., Tamminga, S. 2006. Utilization of N in perennial ryegrass cultivars by stall-fed lactating dairy cows. *Livestock Science*, 100: 159-168.
- Tas, B.M., Taweel, H.Z., Smit, H.J., Elgersma, A., Dijkstra, J., Tamminga, S. 2006a. Effects of perennial ryegrass cultivars on milk yield and nitrogen utilization in grazing dairy cows. *J Dairy Sci.* 89: 3494-3500.
- Taweel, H.Z., Tas, B.M., Dijkstra, J., Tamminga, S. 2004. Intake regulation and grazing behavior of dairy cows under continuous stocking. *J Dairy Sci.* 87: 3417-3427.
- Valadares, R.F.D., Broderick, G.A., Valadares Filho, S.C., Clayton, M.K. 1999. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. *J Dairy Sci.* 82: 2686-2696.
- Valadares Filho, S.C., Broderick, G.A., Valadares, R.F.D., Clayton, M.K. 2000. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on nutrient utilization and milk production. *J Dairy Sci.* 83: 106-114.
- Van Dorland, Anette, H., 2006. Effect of white clover and red clover addition to ryegrass on N use efficiency, performance, milk quality, and eating behaviour in lactating dairy cows. *Diss. ETH Nr. 16867, Zürich.*
- Van Duinkerken, G., André, G., Smits, M.C.J., Monteny, G.J., Sebek, L.B.J. 2005. Effect of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses. *J Dairy Sci.* 88: 1099-1112.
- Van Duinkerken, G., Smits, M.C.J., André, G., Vereijken, P.F.G., Sebek, L.B.J., Dijkstra, J. 2011. Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow houses in a situation with restricted grazing. *J Dairy Sci.* 94: 321-335.
- Van der Stelt, B., van Vliet, P.C.J., Reijs, J.W., Temminghoff, E.J.M., van Riemsdijk, W.H. 2008. Effects of dietary protein and energy levels on cow manure excretion and ammonia volatilization. *J Dairy Sci.* 91: 4811-4821.
- Van Vuuren, A.M., Van der Koelen, C.J., Valk, H., De Vissier, H., 1993. Effects of partial replacement of ryegrass by low protein feeds on rumen fermentation and nitrogen loss by dairy cows. *J Dairy Sci.* 76: 2982-2993.
- Vérité, R., Delaby, L. 1998. Conduite alimentaire et rejets azotés chez la vache laitière. Interrelations avec les performances. *Renc. Rech. Ruminants*, 5 : 185-192.

- Vibart, R.E., Koolaard, J., Barrett, B.A., Pacheco, D., 2009. Exploring the relationships between plant chemical composition and nitrogen partitioning in lactating dairy cows fed ryegrass-based diets. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 69: 188-195.
- Vlaemink, B., Dufour, C., van Vuuren, A., Cabrita, A.R.J., Dewhurst, R.J., Demeyer, D., Fievez, V., 2005. Use of odd and branched-chain fatty acids in rumen contents and milk as a potential microbial marker. *J Dairy Sci.* 88: 1031-1042.
- Vlaemink, B., Fievez, V., Tamminga, S., Dewhurst, R.J., van Vuuren, A., De Brabender, D., Demeyer, D., 2006. Milk odd- and branched-chain fatty acids in relation to the rumen fermentation pattern. *J Dairy Sci.* 89: 3954-3964.
- Vogel, Samuel. 2009. Ökologische Chancen und Risiken der Nutztierhaltung in der Schweiz. SVT-Tagung, Zollikofen 28. April 2009.
- Walker, N.D., Newbold, C.J., Wallace, R.J., 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. In: *Nitrogen and phosphorous nutrition of cattle* (eds Pfeffer E. and Hristov A.N.). CAB international. S 71-115.
- Wattiaux, M.A., Karg, K.L. 2004a. Protein level for alfalfa and corn silage-based diets: I. lactational response and milk urea nitrogen. *J Dairy Sci.* 87: 3480-3491.
- Wattiaux, M.A., Karg, K.L. 2004b. Protein level for alfalfa and corn silage-based diets: II. Nitrogen balance and manure characteristics. *J Dairy Sci.* 87: 3492-3502.
- Wattiaux, M.A., Nordheim, E.V., Crump, P., 2005. Statistical evaluation of factors and interactions affecting dairy herd improvement and milk urea nitrogen in commercial Midwest dairy herds. *J Dairy Sci.* 88: 3020-3035.
- Weisbjerg, M.R. 2010. Estimation of NDF degradation parameters in practice. 61th EAAP-Tagung, Heraklion, Kreta, Griechenland, 2010.
- Weiss, W.P., St-Pierre, N.R., Willett, L.B. 2009a. Varying forage type, concentration of metabolizable protein, and carbohydrate source affects nutrient digestibility and production by dairy cows. *J Dairy Sci.* 92: 5595-5606.
- Weiss, W.P., Willett, L.B., St-Pierre, N.R., Borger, D.C., McKelvey, T.R., Wyatt, D.J. 2009b. Varying forage type, metabolizable protein concentration, and carbohydrate source affects manure excretion, manure ammonia, and nitrogen metabolism of dairy cows. *J Dairy Sci.* 92: 5607-5619.
- Wettstein, Hans-Rudolf, 2000. Influence of plant lecithins on rumen fermentation, lipid digestion and quality of milk and body fat in cattle. Diss. ETH Nr. 13721, Zürich.
- Wettstein, H-R., Estermann, B.L., Sutter, F., Kreuzer, M. 2010. Feed, N and P utilization of Brown Swiss heifers in comparison with Angus and Simmental suckler cows with their progeny grazing mountain pastures. *Archiv Tierzucht* 53: 293-308.
- Wickersham, T.A., Titgemeyer, E.C., Cochran, R.C., Wickersham, E.E., Gnad, D.P., 2008. Effect of rumen-degradable intake protein supplementation on urea kinetics and microbial use of recycled urea in steers consuming low-quality forage. *J Anim Sci.* 86: 3079-3088.
- Woodward, S.L., Waghorn, G.C., Watkins, K.A., Bryant, M.A. 2009. Feeding birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*) reduces the environmental impacts of dairy farming. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, 69: 179-183.

Yan, T., Frost, J.P., Agnew, R.E., Binnie, R.C., Mayne, C.S. 2006. Relationships among manure nitrogen outputs and dietary and animal factors in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 89: 3981-3991.

Zähler, M., Keck, M., Hilty, R. 2005. Ammoniak-Emissionen von Rindviehställen. Minderung beim Bau und Management. FAT-Berichte Nr. 641, Agroscope FAT Tänikon.