



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD  
Forschungsanstalt Agroscope Liebefeld-Posieux ALP



# Möglichkeiten zur Reduktion der Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen bei der Milchkuh

## Annelies Bracher

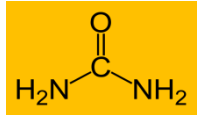
ALP-Tagung 2011, Posieux, 29.09.2011

ALP gehört zur Einheit ALP-Haras



# 1. Kontext

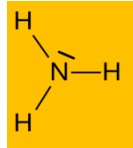
Göteborg Protokoll → Emissionsgrenzen für Schadstoffe, auch NH<sub>3</sub>



Harnstoff (Harn)



Urease (Kot)

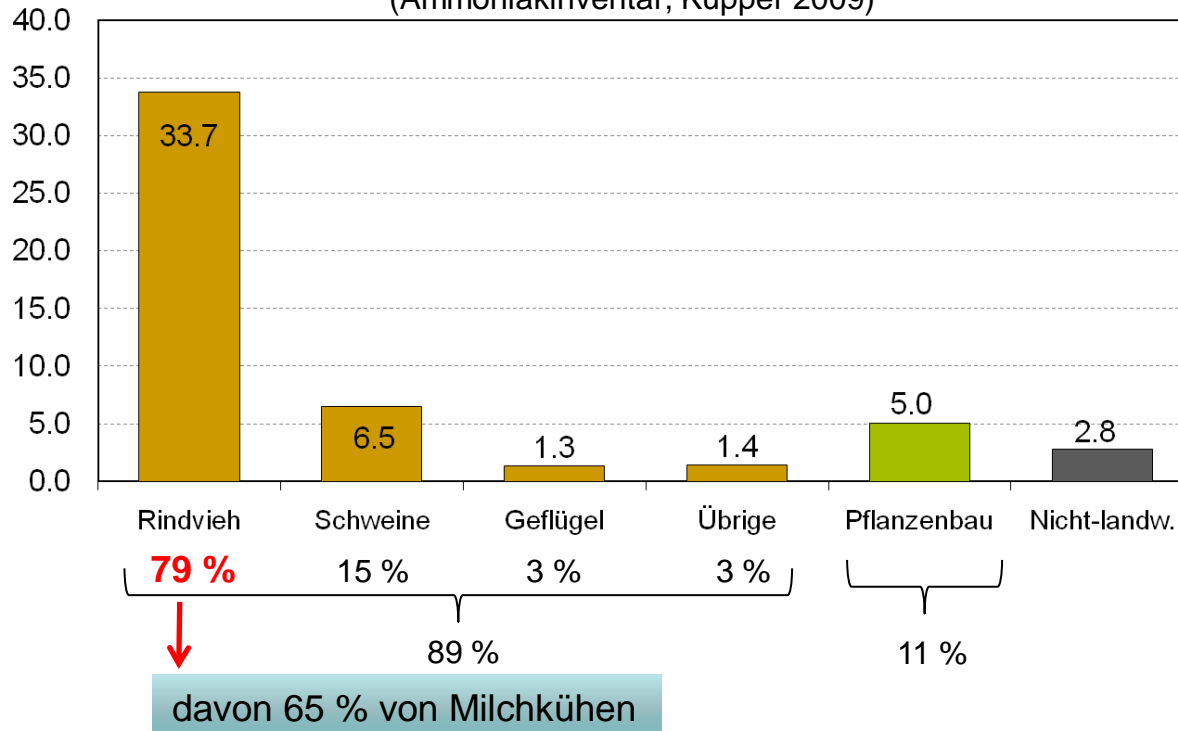


Ammoniak (Gülle)

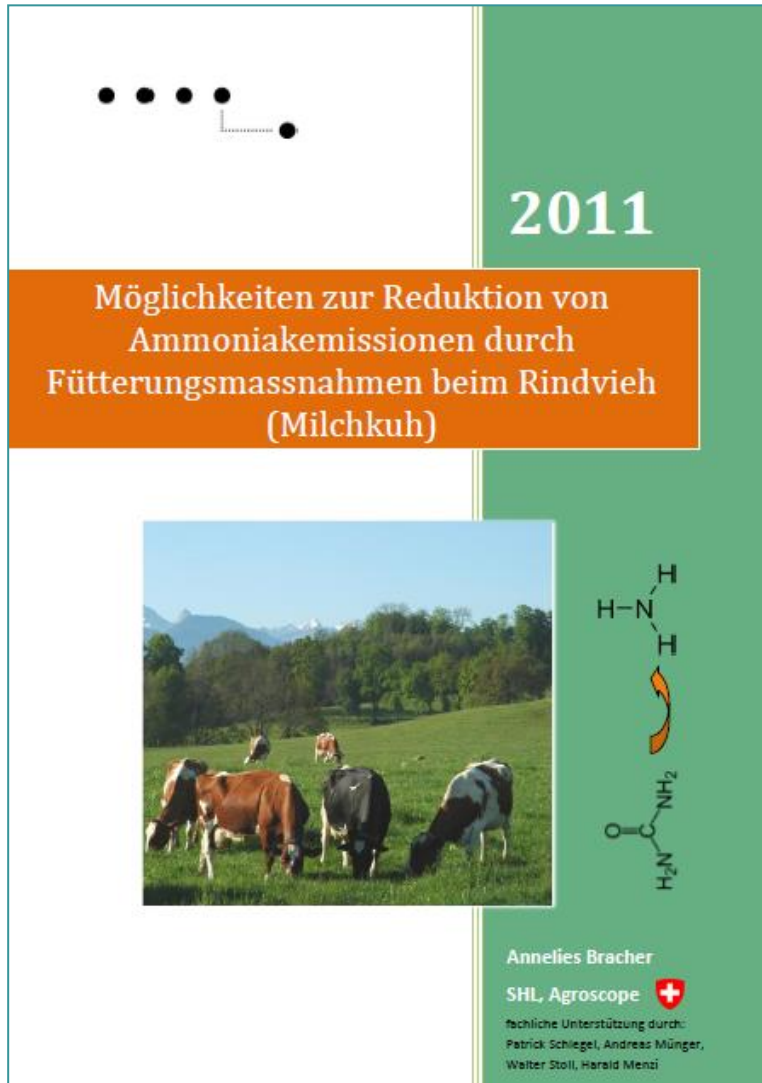
- Harnstoff ist wichtigster Vorläufer
- direkter Bezug zum N-Fluss
- hoher Beitrag der Tierhaltung

## Schweiz: Landwirtschaftliche NH<sub>3</sub>-Emissionen 2007

(Ammoniakinventar, Kupper 2009)




## 2. Ammoniakstudie




2011

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



N

NC(=O)N

Annelies Bracher  
SHL, Agroscope 

fachliche Unterstützung durch:  
Patrick Schlegel, Andreas Münger,  
Walter Stoll, Harald Menzi

Auslöser: Umsetzung von Reduktionsmassnahmen im Rahmen von kantonalen Ressourcenprogrammen (BLW)

Projektziele:

- Wissensstand, Indikatoren  
→ Literatur
- Evaluierung Milchwahstoff
- N-Bilanzversuche CH  
→ Metaanalyse, Regressionen
- Quantifizierung N-Ausscheidung  
→ Modellierung
- Quantifizierung  $\text{NH}_3$ -Emissionen  
→ Modellierung
- Empfehlungen zu Massnahmen

Co-Autoren:

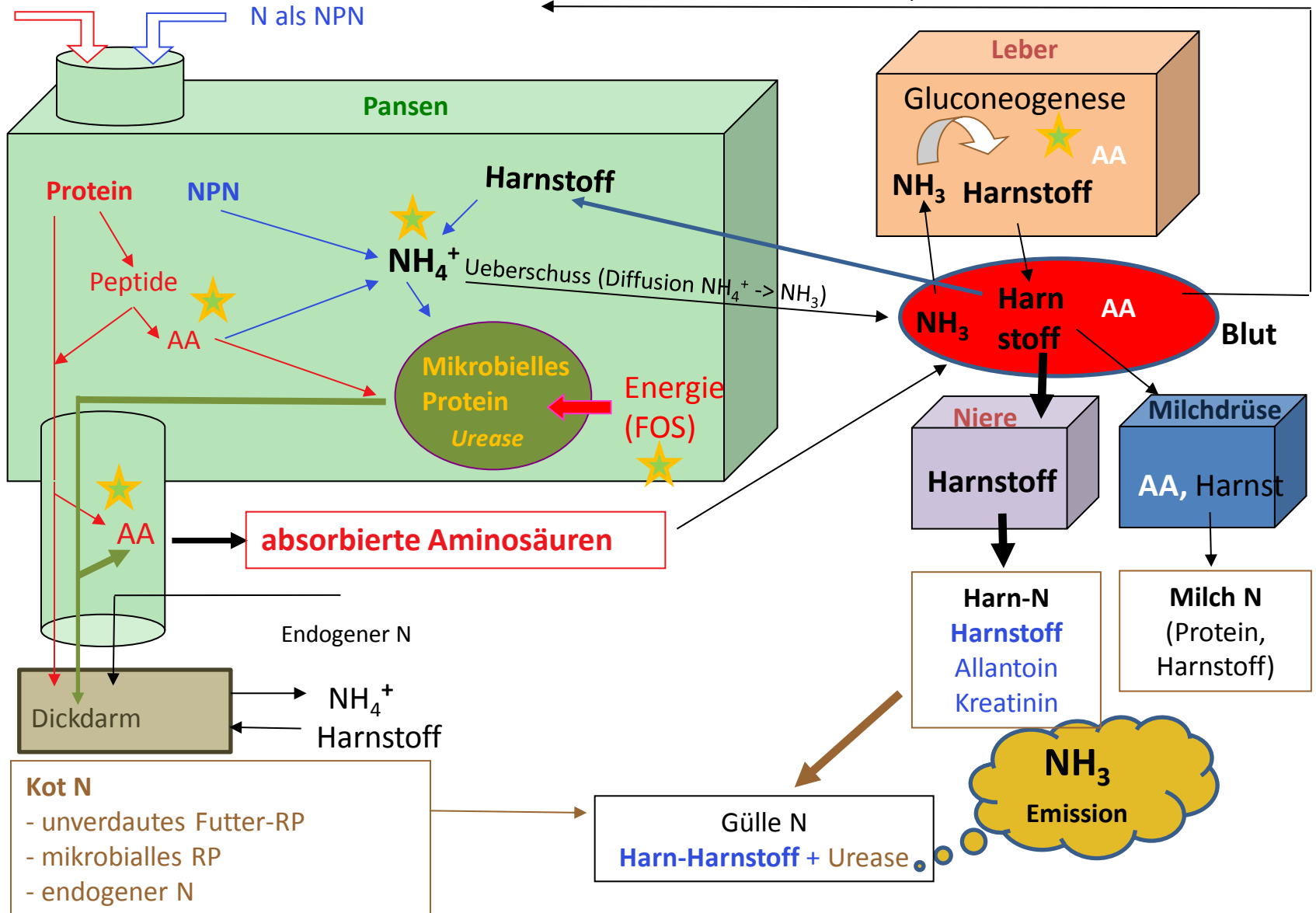
Patrick Schlegel, Andreas Münger, Walter Stoll, Harald Menzi

# 3. Proteinstoffwechsel beim Wiederkäuer

Futterprotein (N\*6.25)  
 Futterenergie (Sta, Zu, NDF, Pec)

N als Protein

N als NPN



Harnstoff via Speichel

absorbierte Aminosäuren

Endogener N

$\text{NH}_4^+$   
Harnstoff

**Kot N**  
 - unverdautes Futter-RP  
 - mikrobialles RP  
 - endogener N

**Gülle N**  
 Harn-Harnstoff + Urease

**NH<sub>3</sub> Emission**

**Niere**  
 Harnstoff  
 Harn-N  
 Harnstoff  
 Allantoin  
 Kreatinin

**Milchdrüse**  
 AA, Harnst  
 Milch N  
 (Protein,  
 Harnstoff)

**Leber**  
 Gluconeogenese  
 NH<sub>3</sub> Harnstoff  
 AA

**Blut**  
 NH<sub>3</sub> Harnstoff AA

Pansen

Protein

NPN

Harnstoff

Peptide

AA

$\text{NH}_4^+$

Ueberschuss (Diffusion  $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3$ )

Mikrobielles Protein  
 Urease

Energie (FOS)

AA

absorbierte Aminosäuren

Endogener N

Dickdarm

$\text{NH}_4^+$

Harnstoff

Kot N

- unverdautes Futter-RP
- mikrobialles RP
- endogener N

Gülle N

Harn-Harnstoff + Urease

NH<sub>3</sub>

Emission

Niere  
 Harnstoff  
 Harn-N  
 Harnstoff  
 Allantoin  
 Kreatinin

Milchdrüse  
 AA, Harnst  
 Milch N  
 (Protein,  
 Harnstoff)

Leber  
 Gluconeogenese  
 NH<sub>3</sub> Harnstoff  
 AA

Blut  
 NH<sub>3</sub> Harnstoff AA

# Proteinstoffwechsel: Harnstoff minimieren!

Besonderheiten:

- ruminaler Proteinabbau = f(aRP)
- Energieabhängige mikrobielle Proteinsynthese → Interaktion FOS, RP
- Diffusion von "überschüssigem",  $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$  ins Blut
- Entgiftung des Blutammoniak zu Harnstoff in der Leber
- Harnstoffzyklisierung
- Harnstoff ist Hauptfraktion des Harn-N
- **hohe Korrelation zwischen Pansen- $\text{NH}_3$  und Blut-, Harn- und Milchwarnstoff**
- Kot-N variiert unabhängig vom Harnstoff-Turnover
- Harnstoff in Gülle direkter Vorläufer von Ammoniak

## Ursachen hoher Harnstoffausscheidungen

- metabolische Verluste → weitgehend unvermeidbar
- Energie-Protein-Imbalanz im Pansen (Menge, Timing)
- postruminale Proteinübersversorgung

 Fütterungseinfluss

→ vermeidbare Harnstoffquellen minimieren



# Indikatoren mit Bezug zur Harnstoffausscheidung

Vermeidbare NH <sub>3</sub> - und Harnstoffquellen	futterabhängige Indikatoren = f(Futterbewertungssystem)
Ruminale Proteinbilanz	<b>PMN-PME</b> , g/kg TS, g/Tag PMN g/kg TS = <b>RP</b> *[1- {1.11*(1- <b>aRP</b> /100)}] PME g/kg TS = 0.145* <b>FOS</b> FOS g/kg TS = VOS-RP*(1-aRP/100)-RL-ST*(1-aST/100)-FP/2 N/VOS, N/FOS, g/kg
Protein-Energiebilanz Kuh	RP/NEL, g/MJ; MPP <sub>NEL</sub> - MPP <sub>APD</sub>
Protein(über)versorgung	RP Verzehr, RP g/kg TS APD Versorgung – APD Bedarf
<b>metabolische Indikatoren: Milch-Harnstoff</b> (MUC) mg/dl Blut-Harnstoff Harn-Harnstoff g/l	

PME = mikrobielles Protein, das aus fermentierbarer Energie aufgebaut werden kann  
 PMN = mikrobielles Protein, das aus dem abbaubaren Rohprotein aufgebaut werden kann



## 4. Milchwahnstoff (MUC, mg/dl)

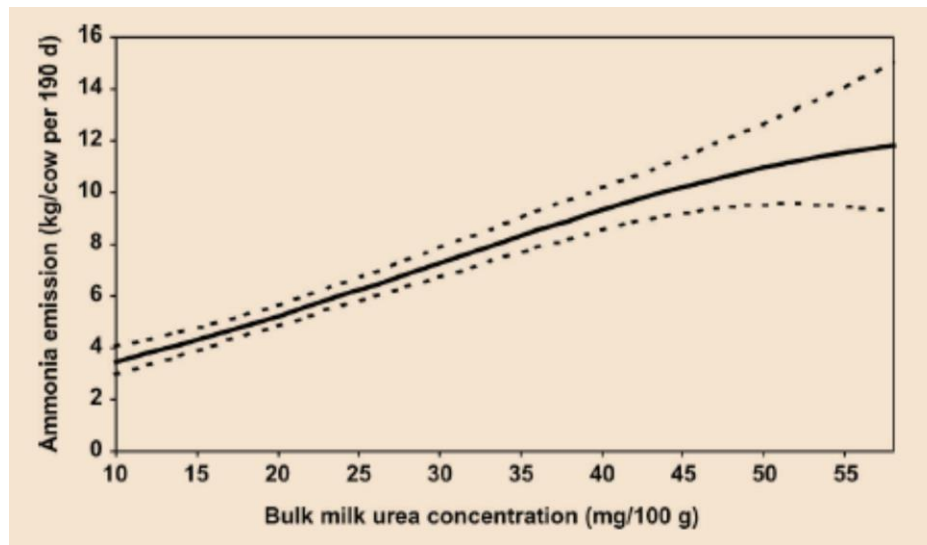
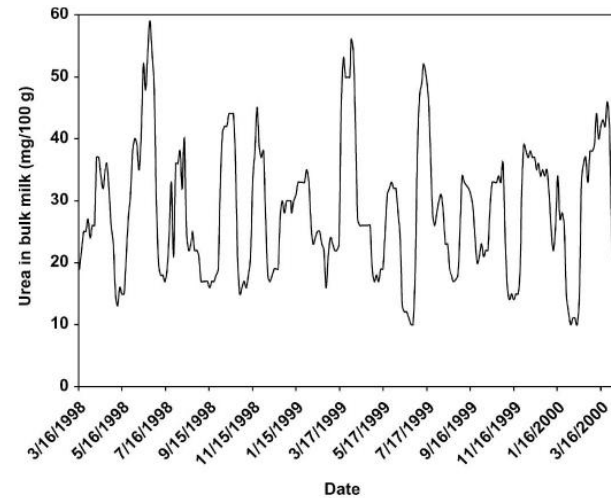
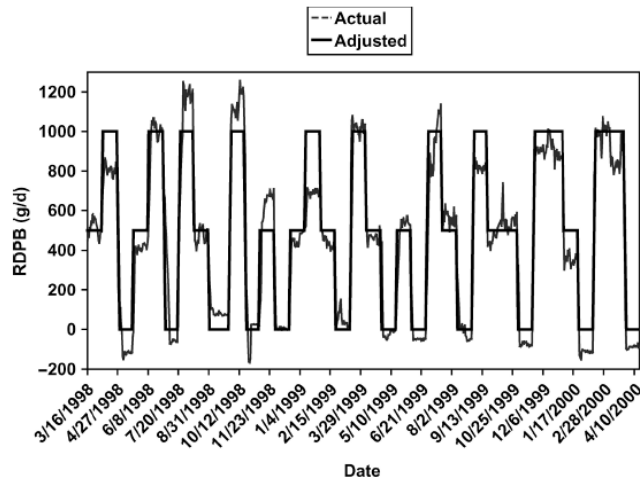
MUC positiv korreliert	MUC negativ korreliert
RPRation g/kg TS, g/Tag PMN-PME g/kg TS, g/Tag APD-Bilanz RP:NEL N:VOS aRP NH <sub>3</sub> Pansen Blutharnstoff  Harnstoffkonz im Harn (UUN) g/l Harn-N g/Tag TAN Gülle g/l  <b>NH<sub>3</sub>-Emissionen</b>	NFC Ration g/kg TS Stärke Ration g/kg TS WSC Ration g/kg TS WSC:RPGrünfutter Tannin  LG NEL-Bilanz N-Effizienz  C:N Gülle

Milchwahnstoff widerspiegelt den Harnstoff-Turnover und ist mit den gleichen Futter-, Stoffwechsel- und Güllemerkmalen positiv korreliert wie die potentiellen Ammoniakemissionen. Er eignet sich als Indikator, allerdings mit Einschränkungen und offenen Fragen.



# Ruminale Bilanz, MUC und NH<sub>3</sub>-Stallemissionen

(van Duinkerken et al 2005)



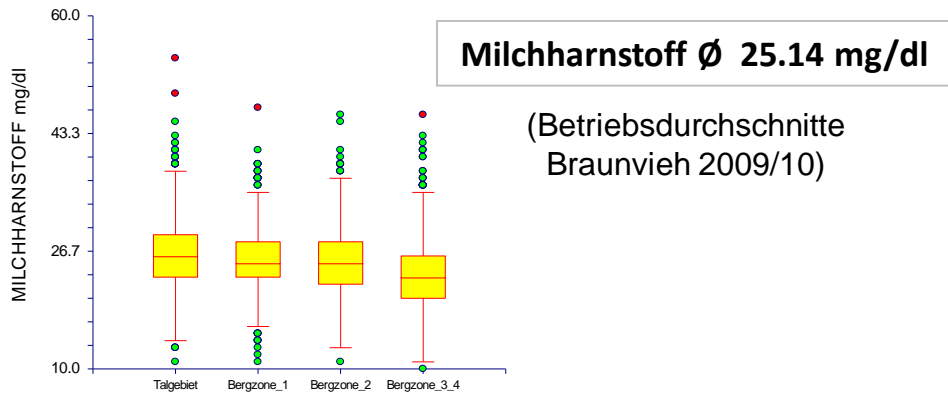
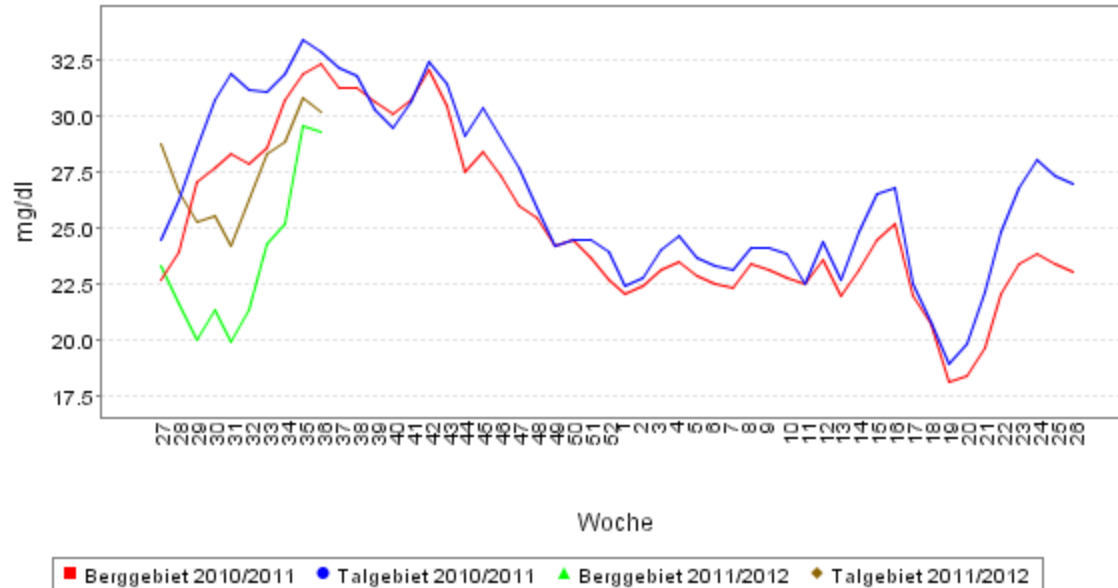
- ruminale Bilanz und MUC verlaufen parallel
- Temperatur und MUC erklären 76 % der Varianz der NH<sub>3</sub>-Stallemissionen





# Schweiz: saisonale, regionale Effekte auf MUC

Harnstoff (http://homepage.braunvieh.ch 2011)

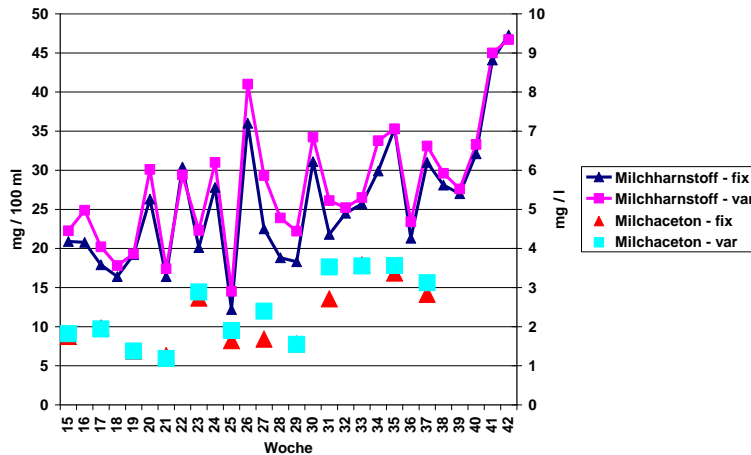


- hohe MUC-Gehalte während Grünfütterung, va Sommer/Herbst
- Talgebiet > Berggebiet
- grosse Betriebsstreuung
- Reduktionspotenzial vorhanden



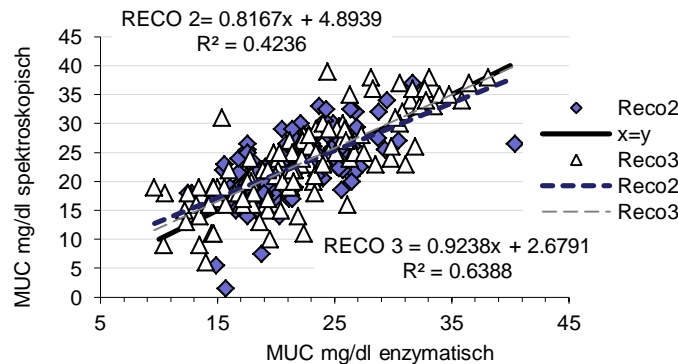
# Milchharnstoff: Problembereiche

Milchkühe auf Vollweide mit Ergänzungsfütterung (Münger 2009)



Sprunghaftigkeit bei variabler Futterqualität, ausgeprägt bei Grünfütterung  
→ Analysenhäufigkeit?

Enzymatische vs spektroskopische Analyse



Routineanalyse Qualitätsmängel  
→ schlechte Vergleichbarkeit zwischen Methoden  
→ Einzeltierinterpretation?



## Milchharnstoff: offene Fragen

- Sprunghaftigkeit
- Analytik
  
- Berechnungsmethode für Betriebsdurchschnitt
  
- Einzeltierprobe oder Tankmilchprobe
  
- Definition Zielbereich
  
- MUC ist unspezifisch in Bezug auf Harnstoffquelle, mehrere Ursachen gleichzeitig und gegenläufig möglich
  
- MUC als Indikator nur bei laktierenden Tieren einsetzbar
  
- Kombination mit weiteren Indikatoren



# 5. Analyse Schweizer N-Bilanzversuche

Datenquelle: Dissertationen, Fütterungsversuche ALP

Ziel: Überprüfung der Beziehung zwischen Futtermerkmalen und N-Umsatz

Übersicht der Datensätze aufgeteilt nach Kuhgruppe und Rationstyp

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 %	Milk kg ECM	MUC mg/dl
Galkühe	31	4.9	109	132.54	54.25	37.16	27.0	-	-
lakt Kühe Winterration	165	6.15	148.3	399.9	144.9	109.9	41.0	23.0	20.0
lakt Kühe Sommerration	191	6.61	182.6	515.6	143.7	<b>214.0</b>	58.54	26.6	30.5

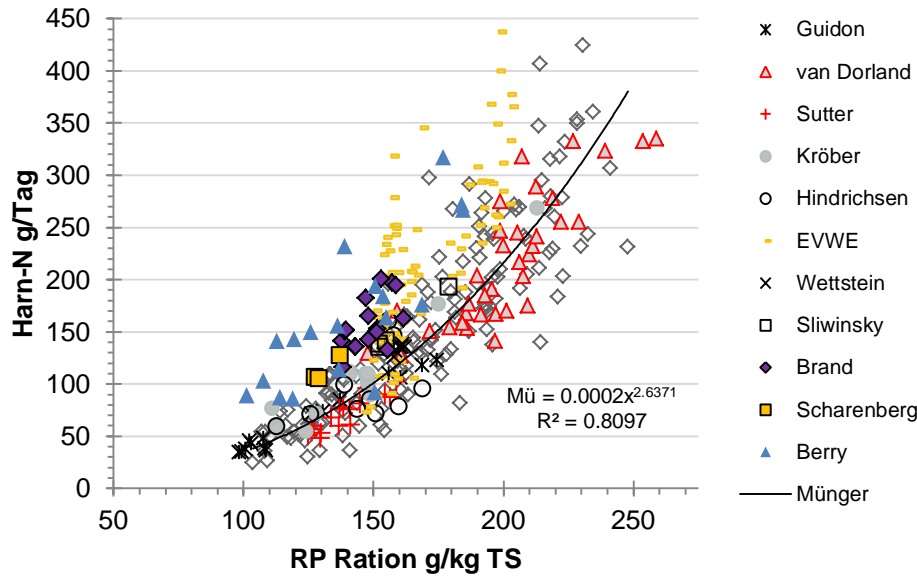
- Datensätze decken eine breite Palette an Rationen und Leistungen ab
- mehrheitlich Einzeltierdaten
- spektroskopisch bestimmte Milchwahstoffdaten gestrichen

generell:

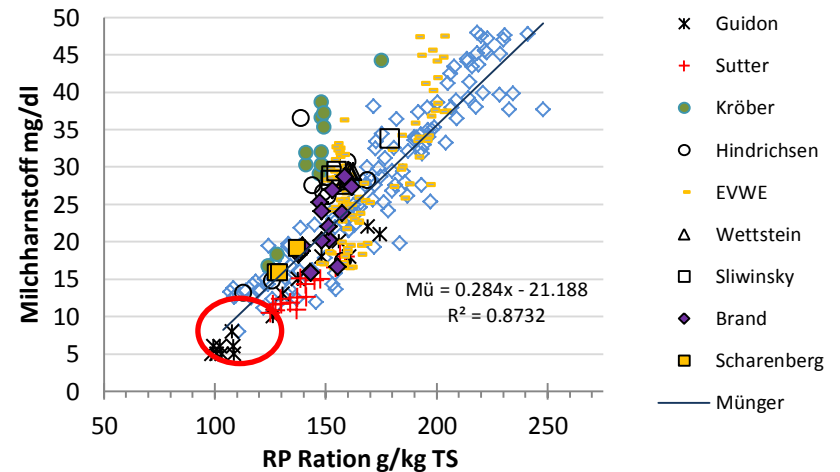
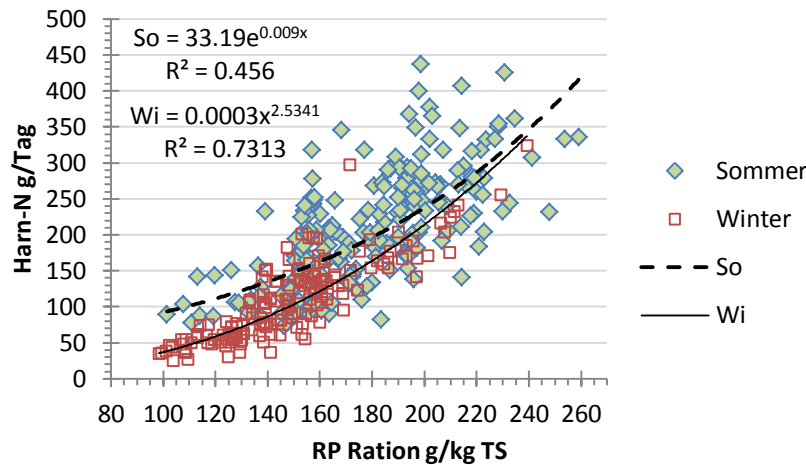
- saisonaler Einfluss auf N-turnover
- Harn-N viel variabler als Kot-N
- Harn-N nimmt mit N-Verzehr quadratisch zu



# Harn-N, RP-Gehalt der Ration und Milchharnstoff



- Harn-N steigt mit zunehmendem RP-Gehalt
- Unterschiede zwischen Versuchen
- Sommerrationen verursachen hohe Harn-N-Ausscheidung
- Milchharnstoff korreliert mit RPRation ( $R^2 = 0.74$ )
- analog: RP/NEL, N/VOS, PMN-PME

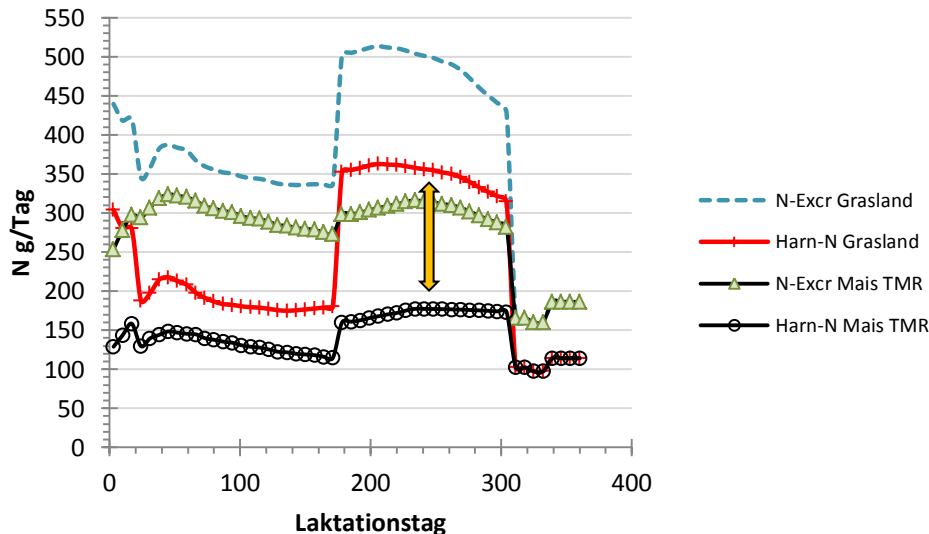




# 6. Modellierung N-Ausscheidung

- Laktationskurve → Bedarf
- Verzehrmodell (gemäss Grünes Buch), eingeplantes Energiedefizit (Protein) → Kraftfutterbedarf
- Kot-N g/Tag = Futter-N (g/Tag) \* (1-vN)
- Harn-N g/Tag = Futter-N (g/Tag) - Milch-N (g/Tag) - Kot-N (g/Tag); N-Bilanz = 0
- Input: Rationskomponenten, Dauer Winter-/Sommerfütterung, Abkalbung, Leistung → 12 Fütterungsstrategien

	Grasland basiert	Mais betont
Leistungkg ECM	7000	7000
Abkalbung	20. Okt	20. Okt
Winterration	Heu (50 %), GS (50 %) + Kf	MS (40 %), GS, Heu, Futterrüben+ Kf
Sommerration	100 % Gras, 21 % RP	MS (40 %), Heu (20 %), Gras (40 %)



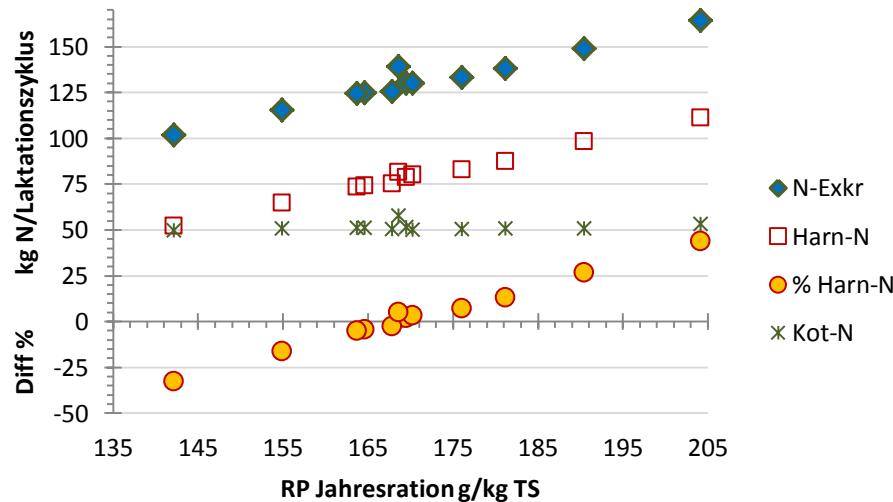
Σ Laktation	Grasland	Mais
Kot-N kg	50.7	49.7
<b>Harn-N kg</b>	<b>87.3</b>	<b>52.1</b>
total N-Exkr kg	138.0	101.8
RP Ration %	18.1	14.2
N-Exkr/ECM g/kg	20.1	14.8
<b>N-eff %</b>	<b>19.9</b>	<b>25.1</b>



# Fütterungsmassnahmen Sommer

Abkalbung Oktober	RP Sommer g/kg TS lact	PMN-PME g/kg TS lact	Harn-N Sommer kg	% Diff
21 % RP Gras, kein Ef	210	59.7	58.4	
17,6 % RP Gras, kein Ef → Grasqualität	176	28.3	44.2	-24.3
21 % RP Gras, +Dürrfutter (10%)	199	52.4	53.6	-8.2
21 % RP Gras, +Maiswürfel (10%)	196	50.9	53.0	-9.2
21 % RP Gras, +Rübenschnitzel (10%)	198	46.9	53.8	-7.9

Modellierte Jahresausscheidung an Kot-N, Harn-N und N-Exkr (7000 kg ECM)

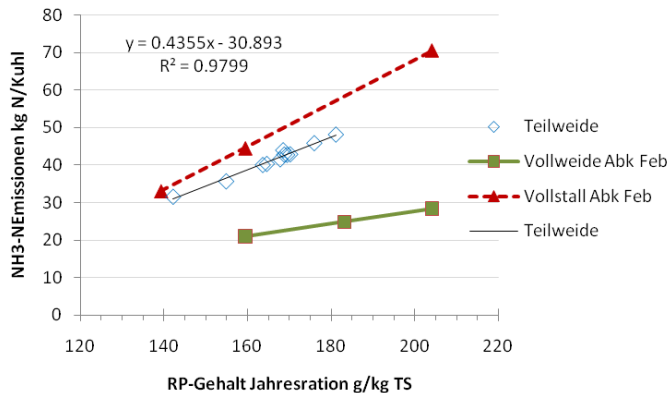
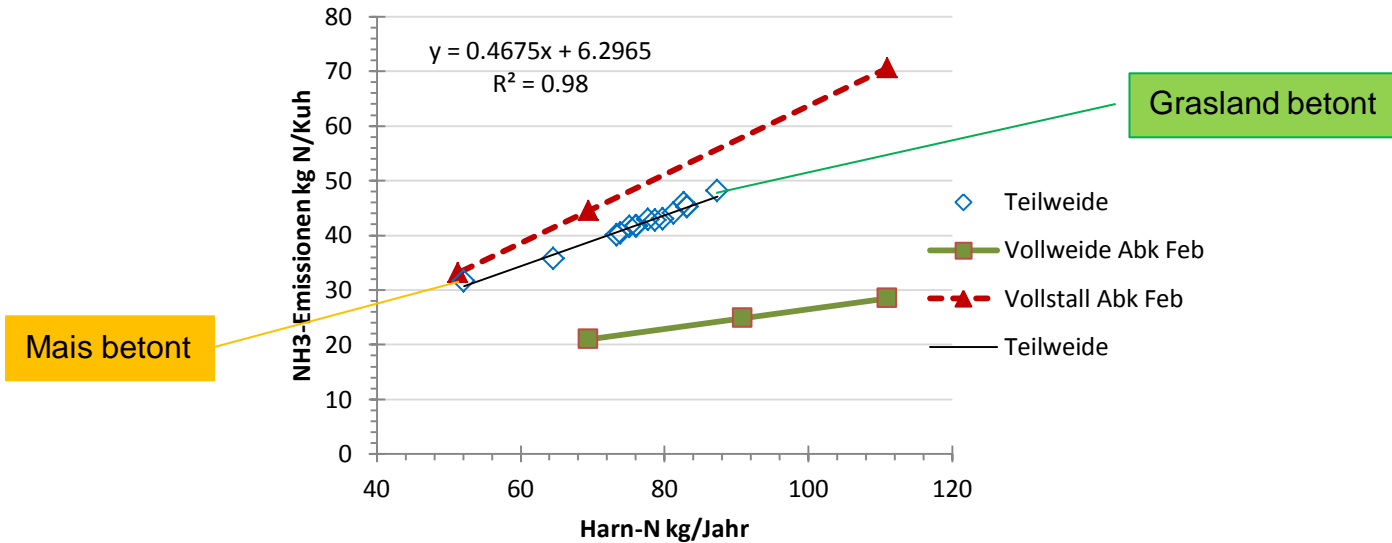


Inputvariablen für  
NH<sub>3</sub>-Emissionsberechnung



# 7. Modellierung NH<sub>3</sub>-Emissionen

Modellbetrieb: Laufstall, Vollgülle, Laufhof, nur Stallfütterung oder 6 h Weide (Teilweide) oder 20 h Weide (Vollweide) an 210 Tagen, abgedecktes Güllelager, Prallteller, TAN-Flussmodell (<http://agrammon.ch>).



- Vollweide im Sommer immer die tiefsten Emissionen
- **Teilweidestrategie:**
  - pro kg ↓ Harn-N → 0.47 kg weniger NH<sub>3</sub>-N
  - pro % ↓ Harn-N → 1.3 kg weniger NH<sub>3</sub>-N
  - pro g ↓ RP Ratio → 0.44 kg weniger NH<sub>3</sub>-N
  - pro g/MJ ↓ CP/NEL → 2.68 kg weniger NH<sub>3</sub>-N





## 8. Richtwerte für eine N-optimierte Fütterung mit reduziertem NH<sub>3</sub>-Emissionspotenzial

### Gesamtration (zu jedem Zeitpunkt der Laktation)

- RP-Gehalt < 18 %
- RP/NEL -Verhältnis < 25 g/MJ
- N/VOS-Verhältnis < 40 g/kg
- ruminale Proteinbilanz < 600 g/Tag, < 30 g/kg TS (PMN-PME)
- $MPP_{NEL}$ ,  $MPP_{APDE}$ ,  $MPP_{APDN}$  ausgewogen, bedarfsgerecht



### Fütterungstechnik

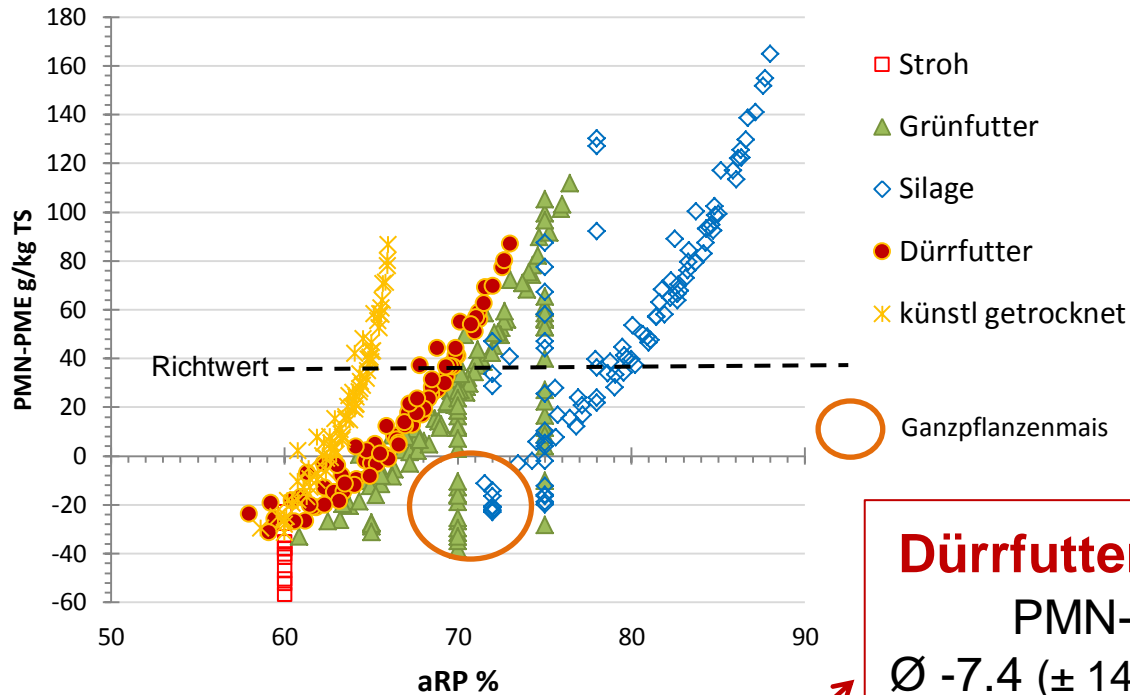
- mehr als 2x Krafftutter/Tag über Automat oder Futtermischwagen
- **Sonderfall Weide:** Ohne Ausgleichsfütterung und/oder abgestufte Grasqualität für spätlaktierende Kühe ist der N-Anfall hoch und die **N-Effizienz** auf Kuh- und Betriebsstufe reduziert. Wegen Bodenversickerung bleiben die NH<sub>3</sub>-Emissionen tief.

### Milchharnstoff

- < 25 mg/dl
- Korrekturfaktor bei Vollweide



# Abbaubarkeit des Rohproteins und ruminale Proteinbilanz von Raufutter (schweiz. Futtermitteldatenbank 2011)



- frühe Nutzungsstadien haben einen N-Ueberhang im Verhältnis zur Energie  
→ Weidestadien  
→ Grassilage mit generell hoher aRP
- spätere Nutzungsstadien und Maisprodukte eignen sich als Ausgleichsfutter
- Häufigkeitsverteilung in Praxis?



# Schlussfolgerungen



- empfohlene **Rationsmerkmale** kombiniert anwenden, in Fütterungsplänen als Kontrollgrösse einbauen
- **Problembereiche**
  - Winter → hohe Grassilageanteile ohne Mais oder Hackfrüchte
  - Sommer → frühe Nutzungsstadien von Grünfutter, Verzicht auf Ausgleichsfutter (Krafftutter oder Raufutter), Proteinübersversorgung spätlaktierende+galte Kühe
- **Graslandbasierte Milchproduktion** hat Optimierungsbedarf in Bezug auf N-Effizienz, bei Vollweide sind  $\text{NH}_3$ -Emissionen tief
- **Umsetzungsvarianten** im Vollzug: noch in Diskussion!
  1. Produktionssystem ( z.B. Vollweide oder ganzjährig ausgewogene Ration)
  2. Punktesystem
  3. Milchnharnstoff als Indikator