

Nutzung der physikalisch effektiven Neutral-  
Detergenz-Faser zur Strukturbewertung von  
Wiederkäuerrationen  
und  
Alternativen zur *in vivo*-Ermittlung des nutzbaren  
Rohproteins

Herbert Steingaß

Institut für Tierernährung



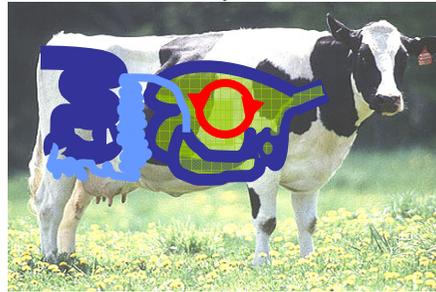
# Übersicht

---

- Strukturbewertung mit dem System peNDF
  - Bedeutung der Struktur
  - Ableitung des Systems peNDF
  - Praktische Anwendung
  - Fazit
  
- Alternativen zur Ermittlung des nXP *in vivo*
  - *In situ*-Methode – Standard zur Ermittlung des Gehaltes an UDP?
  - Erweiterter Hohenheimer Futterwerttest
  - Chemische Rohproteinfraktionierung
  - Enzymatischer Proteinabbau
  - Fazit

# Bedeutung der Struktur

---



Entscheidend für die **Gesundheit** und **Leistungsfähigkeit** des Pansens und folglich der Milchkuh

- Pansenazidose (subakute=SARA oder akute)
- Abbauprozesse im und distal vom Pansen
- Futteraufnahme und -verwertung
- Pansenstoffwechsel, Milchleistung und -zusammensetzung
- Körperverluste und unerklärte Durchfälle
- Aktivierung eines systemischen „**inflammatory response**“

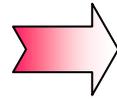
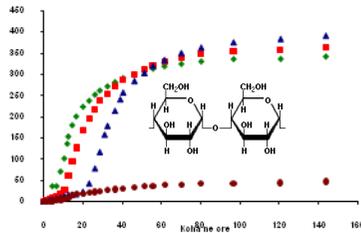
⇒ *Laminitis*

⇒ *Fettleber*

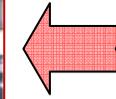
*Stone, 2004; Ametaj, 2005; Gozho et al., 2007*

# Struktur: Bewertung und Ableitung des Bedarfs

Chemische Eigenschaften  
(>Faser<, >OM-Abbau<)



Physikalische  
Charakteristika



"Klassische" Indikatoren für die Versorgung mit Struktur

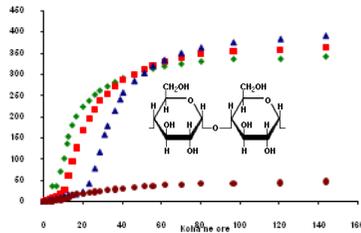
Milchfettgehalt, Kauaktivität

⇒ Bewertungssysteme:

- Strukturierte Rohfaser
- Strukturwert

# Struktur: Bewertung und Ableitung des Bedarfs

Chemische Eigenschaften  
(>Faser<, >OM-Abbau<)



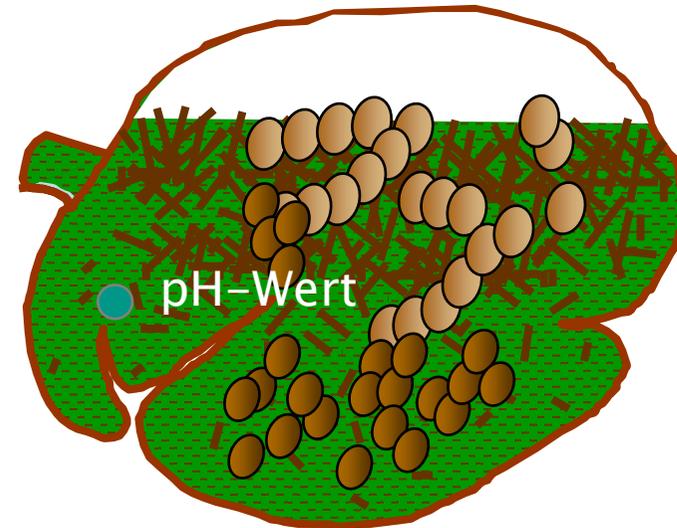
Physikalische  
Charakteristika



“Neuer” Indikator für die Versorgung mit Struktur

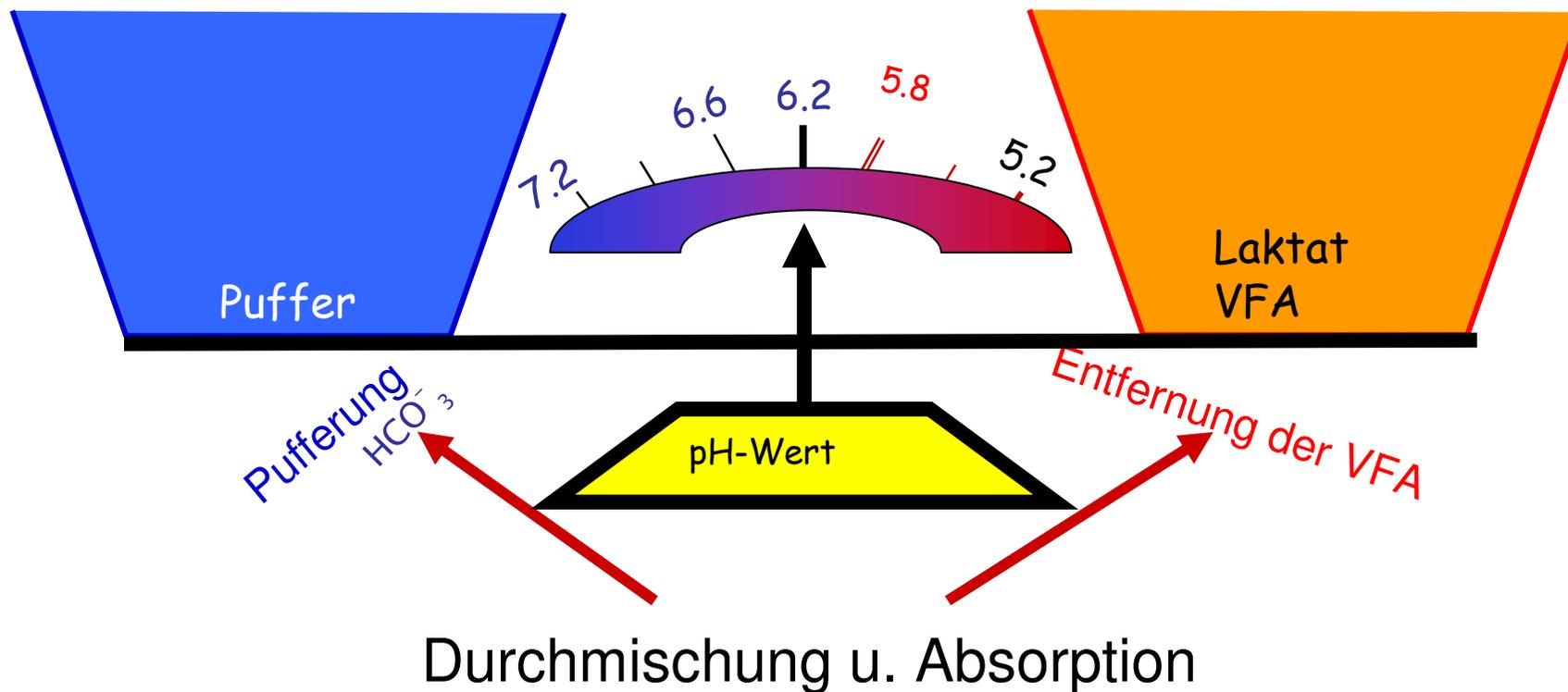


Der pH-Wert hat sich als bester Indikator zur Beurteilung der Pansenbedingungen erwiesen !!

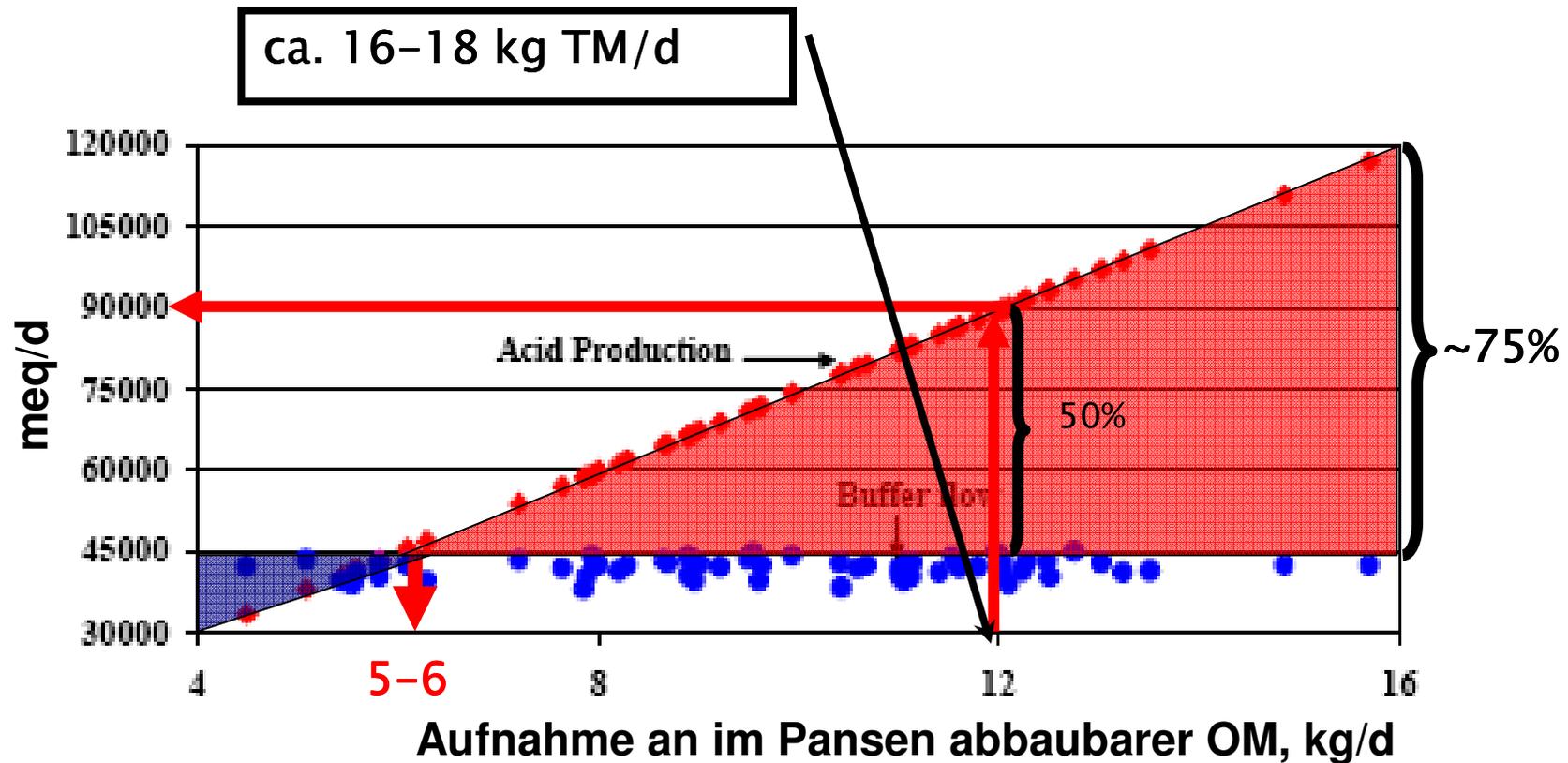


# Aufrechterhaltung des normalen pH-Wertes bei Milchkühen

- Kauaktivität
- Schichtungscharakteristika der Futtermassen
- Peristaltik
- Gesundheit u. Entwicklung der Pansenzotten



# Bilanz: Pufferfluss durch Speichel – Fermentationssäuren



- Kauaktivität alleine garantiert keine sicheren Pansenbedingungen
- Bedeutung der Absorptionskapazität nimmt mit steigender TM Aufnahme zu

Shaver, 2002

---

Ableitung des Systems peNDF

an Hand des pH-Wertes im Pansen

# „Physikalisch effektive $NDF_{>1,18 \text{ mm}}$ “



*Schüttelbox*

peNDF =

Summe der Anteile



Sieb 1.18mm

+



Sieb 8mm

+



Sieb 19mm

x  $NDF_{OM}$  der TMR

Probe: < 400g TMR  
Zyklen: [5 Hübe in jede Richtung] 2 Mal  
(5\*4\*2=40)  
Hublänge: 17cm  
Frequenz:  $\geq 1,1\text{Hz}$

Einbeziehung der *kleinen Partikel (1,18-8mm)* aufgrund ihrer Rolle bei **Pansenschichtung, Bakterien- und Protozoenwachstum, Pansenepithel => Absorption ...**  
weniger wegen des Wiederkauprozesses

# „Physikalisch effektive $NDF_{>1,18 \text{ mm}}$ “

Definition „Siebweite 1,18mm“

=

Partikel, die mit hoher Wahrscheinlichkeit im Retikulorumen retiniert werden (Poppi, 1980)

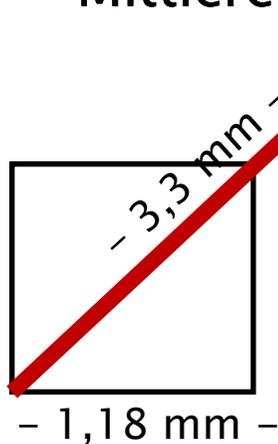
Siebweite 1,18mm => mittlere Partikellänge von  $2 \times \sqrt{2}$

=

$1,18 \times 2 \times \sqrt{2}$

=

Mittlere Partikellänge: 3,3mm



# Daten aus relevanten Publikationen zur Ableitung des Modells

---

- 20 Studien zur Schätzung der Grenzwerte, um zwischen normalen and abnormalen (SARA) Bedingungen im Pansen zu differenzieren
- 80 Studien zur Charakterisierung des Fermentationsverlaufs im Pansen
- 58 Studien (238 Rationen) zur Bewertung der Struktur der TMR anhand des pH-Wertes im Pansen bei Milchkühen
  - ✚ **Berücksichtigte fütterungsbedingte Faktoren:**  
(einfach messbar und physiologisch wichtig)
    - **Gehalt an physikalischer effektiver NDF in TMR (% i TM)**
    - **Gehalt an (im Pansen abbaubarer) Stärke (% i TM)**
    - **TM-Aufnahme (kg/d)**

# Zusammenfassung des Datensatzes für die Modellierung

Parameter	$\bar{x}$	SD	Minimum	Maximum	n
LM, kg	639	49.6	528	886	238
Laktationstag	95.5	48.4	9	210	238
TM-Aufnahme, kg/d	22.3	3.28	14.2	28.3	238
Milch, kg/d	34.9	5.78	23.1	49.3	212
pH-Wert (Tagesmittelwert)	6.10	0.26	5.30	6.73	205
Dauer des pH-Wertes unter 5.8, h/d	5.74	1.94	0	19.6	326
<b>Zusammensetzung, % i TM</b>					
KF-Niveau	50.6	10.6	26.8	80.8	238
Rohprotein	17.2	1.56	12.7	22.1	219
Nicht-Faser Kohlenhydrate (NFC)	37.5	6.54	16.5	53.2	214
Ruminale abbaubare Stärke in TMR (RS)	14.8	4.93	3.60	29.1	210
NDF	32.5	6.38	18.2	49.0	238
NDF aus dem Grundfutter	21.9	5.98	11.5	44.9	206
Physikalisch-effektive NDF	24.1	7.10	4.24	40.6	187

# Abgrenzung einer normalen Fermentation von subakuter Acidose („SARA threshold“)

## Tagesmittelwert

Pansen- bedingungen	Least-Square Means	Vertrauensintervalle			
		95%		99%	
		Untere Grenze	Obere Grenze	Untere Grenze	Obere Grenze
Normale Fermentation	6.32	6.21	6.44	6.16	6.49
SARA	5.98	5.87	6.09	5.82	6.14

### Wichtig!

pH-Wert im Pansen darf nicht niedriger als 6.15 sein  
(als Tagesmittelwert)

Zebeli & Drochner, 2007

# Abgrenzung einer normalen Fermentation von subakuter Acidose („SARA threshold“)

Zeitdauer des pH-Wertes unter 5,8, h/d

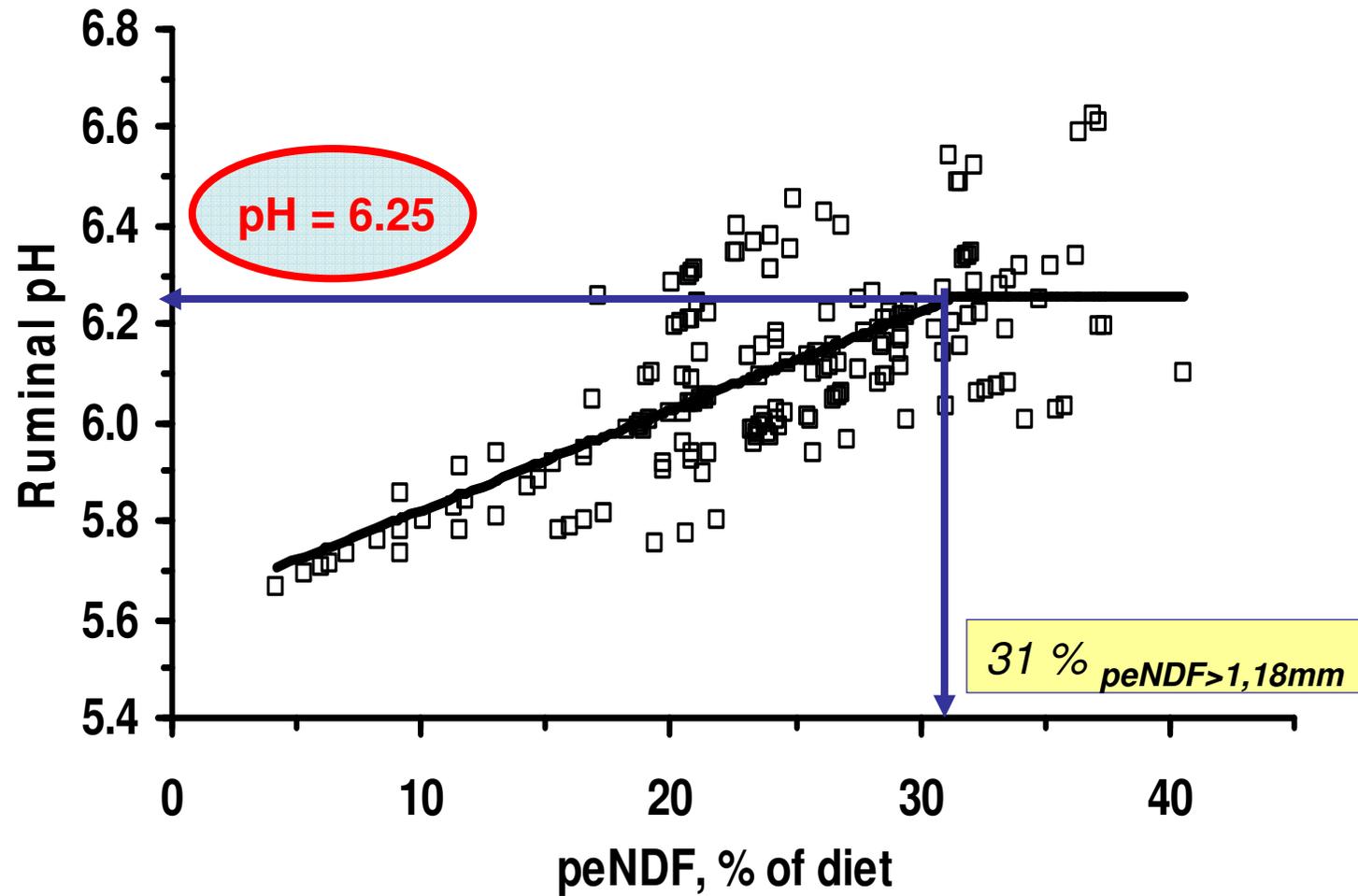
Pansen- bedingungen	Least-Square Means	Vertrauensintervalle			
		95%		99%	
		Untere Grenze	Obere Grenze	Untere Grenze	Obere Grenze
Normale Fermentation	2.98	1.98	4.49	1.62	5.24
SARA	9.02	6.29	13.02	5.47	15.54

**Wichtig!**

Nicht länger als 5.2 Stunden/d bei pH-Wert < 5.8

# Modellierung: Tages-pH-Wert und Gehalt an peNDF

(n = 238 Rationen)



# Modell zur Beschreibung der Einflüsse von Futterfaktoren\* auf den pH-Wert im Pansen

\*  $\text{peNDF}_{>1,18 \text{ mm}}$ ; abbaubare Stärke; TM-Aufnahme

pH	= 6,05 + 0,044peNDF - 0,0006 peNDF <sup>2</sup> - 0,017 abbaub. Stärke - 0,016 TM-Aufnahme	% i.TM % i.TM % i.TM kg
	$R^2 = 0,66$ ; RMSE = 0,11	

**Mittlerer Tages-pH-Wert gleichbedeutend mit Strukturbedarf:  
Zielwerte >6,14 bis 6,22**

Schätzung der Futteraufnahme: DLG Information 1/2006

Gehalt an abbaubarer Stärke: DLG-Information 2/2001; OFFNER et al. (2003): Anim. Feed Sci. Technol. 106:81

# Notwendige Gehalte an peNDF $>1,18$ mm in Abhängigkeit von der TM-Aufnahme und dem Gehalt an ruminal abbaubarer Stärke der Ration

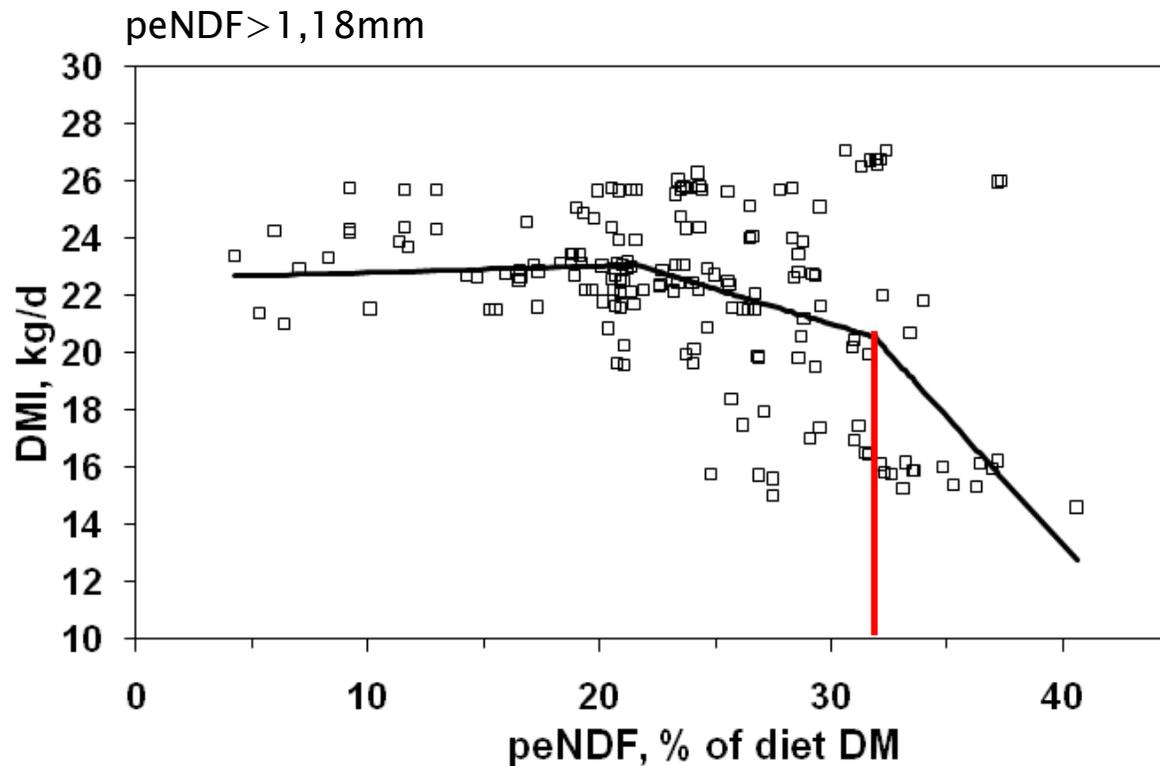
abbaubare Stärke (% i. TM)	TM-Aufnahme (kg)				
	18	20	22	24	26
8	18	19,5	21	23	25
12	21	23	25	27,5	31
16	25	28	32*	32*	32*
20	32	35	32*	32*	aXS red.

pH 6,22 erreicht

pH 6,14 erreicht

\* Begrenzung wg. Futteraufnahme

# Zusammenhang zwischen dem Gehalt an peNDF $>1,18$ mm und der TM-Aufnahme



Erst oberhalb von 32% peNDF  $>1,18$ mm ist ein stärkerer Rückgang der Futteraufnahme zu erwarten.  
⇒ Die Ration sollte keinesfalls *zu wenig* aber auch nicht *zu viel peNDF* enthalten.

# Praktische Durchführung: Strukturbewertung mit Hilfe der Physikalisch effektiven NDF<sub>>1,18 mm</sub>

---

Die peNDF ist ein Instrument für die *Rationskontrolle*

Vorteil ist, dass sämtliche Effekte auf die Partikelgröße des Futters durch technische Bearbeitung

vor der Futtervorlage (Zerkleinerung durch z.B. Häckselung, Futterentnahme)

und

während der Futtervorlage (Zerkleinerung im Mischwagen)

berücksichtigt werden.

Für die *Rationsplanung* ist peNDF daher nicht geeignet.

# Praktische Durchführung: Strukturbewertung mit Hilfe der Physikalisch effektiven $NDF_{>1,18 \text{ mm}}$

---

## *Rationsplanung:*

erfolgt mit der Kennzahl *NDF aus Grobfutter*

= NDF-Gehalt der Grobfuttermittel x Menge in der Tagesration

*Zielwert ist 300 g / kg TM (270 - 320 g / kg TM)*

(korrespondierend mit einem pH-Wert des Pansens von 6,2)

(Zebeli et al. 2007)

Die Verwendung des Maßstabes „*Strukturierte Rohfaser*“ ist hierzu ebenfalls geeignet

Von einer Verwendung der Systems „*Strukturwert*“ wird dagegen abgeraten

# Fazit: Physikalisch effektive NDF

---

- Der **pH-Wert** hat sich als bestes Kriterium zur Beurteilung der Pansenbedingungen erwiesen.
- Um normale Bedingungen im Pansen aufrechtzuerhalten, **muss Folgendes sichergestellt werden**:
  - ✚ Tagesmittelwert des pH-Wertes nicht niedriger als **6.15**
  - ✚ Zeitdauer eines pH-Wertes  $< 5.8$  nicht länger als **ca. 5 h/d**
- **31 %** peNDF<sub>>1,18mm</sub> (in der TM) kann als **allgemeines optimales Niveau** betrachtet werden, welches normale Pansenbedingungen und eine ausreichende Strukturversorgung bei Hochleistungskühen garantiert.
- Der Bedarf an peNDF, der zur Stabilisierung des pH-Wertes im Pansen benötigt wird, erhöht sich mit der Menge an **abbaubarer Stärke** in der Ration und der **TM-Aufnahme**.

---

# Alternativen zur *in vivo*-Ermittlung des nutzbaren Rohproteins

# Grundlagen der Proteinbewertung – das nXP-System

---

## Was liefert das Futter?

$$(9) \quad nXP = [11,93 - (6,82 \text{ (UDP/XP)})] \text{ ME} + 1,03 \text{ UDP}$$

$$(11) \quad nXP = [187,7 - (115,4 \text{ (UDP/XP)})] \text{ DOS} + 1,03 \text{ UDP}$$

> **7 % Rohfett (XL)** in der Trockenmasse (Einzelfuttermittel):

$$(10) \quad nXP = [13,06 - (8,41 \text{ (UDP/XP)})] (\text{ME} - \text{MEXL}) + 1,03 \text{ UDP}$$

$$(12) \quad nXP = [196,1 - (127,5 \text{ (UDP/XP)})] (\text{DOS} - \text{DXL}) + 1,03 \text{ UDP}$$

nXP = nutzbares Rohprotein (g/Tag); UDP = unabgebautes Futterrohprotein (g/Tag);

XP = Futterrohprotein ohne Harnstoff (g/Tag); ME = umsetzbare Energie (MJ/Tag);

DOS = verdaul. organische Substanz (kg/Tag); MEXL = umsetzbare Energie aus Rohfett (g/Tag); DXL = verdaul. Rohfett (kg/Tag).

# Grundlagen der Proteinbewertung – das nXP-System

---

Wieviel braucht das Tier?

GfE, 1997:

Bedarf an nutzbarem Rohprotein am Duodenum (nXP, g/Tag)

= Nettobedarf x 1,33 x 1,18 x 1,37

= **Nettobedarf x 2,1**

# Alternativen zur Ermittlung des nXP *in vivo*: *In situ*-Methode



# *In situ*-Methode

---

## ■ Vorteile:

- Ausnutzung der natürlichen Bedingungen im Verdauungstrakt; bestmögliche Annäherung an *in vivo*-Verhältnisse
- Weltweit etabliertes Verfahren
- Benötigt keine Stromversorgung! (oft entscheidendes Kriterium in Drittländern)

# *In situ*-Methode

---

## Nachteile:

- Haltung pansenfistulierter Tiere erforderlich, jedoch keine Darmfisteln notwendig
- Alles Verschwundene wird als abgebaut betrachtet (Problem bei Futtermitteln mit viel wasserlöslichem Material und bei Flüssigkeiten)
- Schwierige Standardisierung, abhängig von:
  - Beutelmateriale (Porengröße und Flechtung des Gewebes)
  - Probenmenge bezogen auf Beuteloberfläche
  - Vermahlungsfeinheit
  - Platzierung im Pansen
  - Ration der Versuchstiere und Fütterungsniveau
  - Waschen und Aufbereitung der Beutel nach der Inkubation
  - .....

# *In situ*-Methode

---

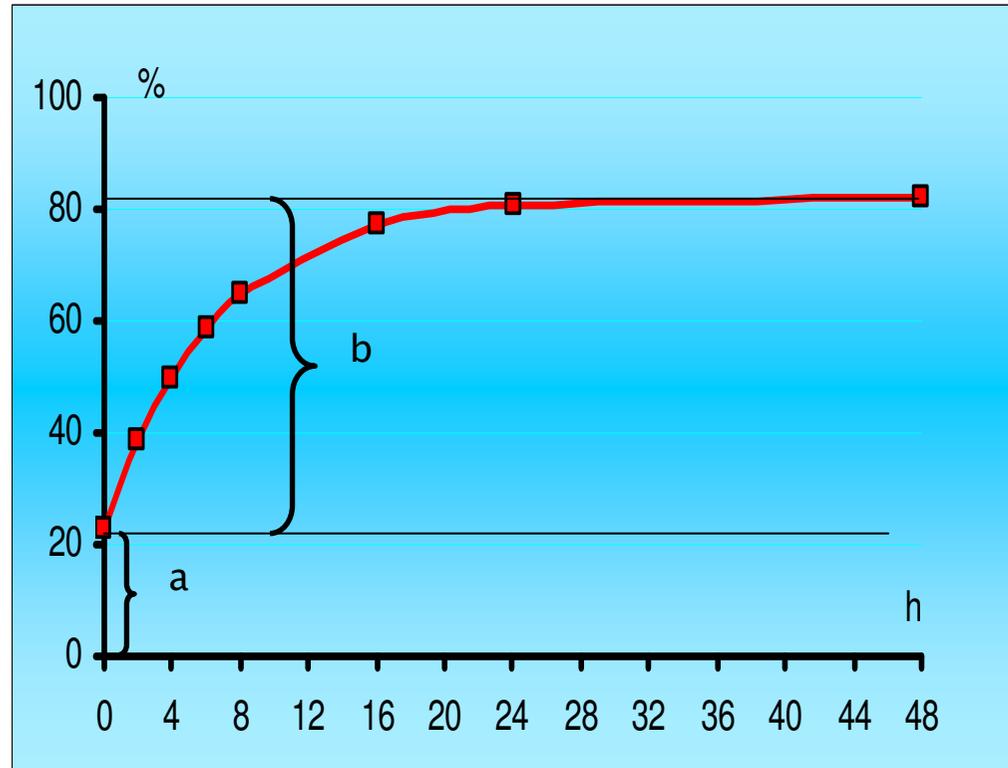
## Häufig vorgeschlagene Standardisierungsmaßnahmen

- Porengröße 30–50µm
- maximal 15mg Futter-TM pro cm<sup>2</sup> Oberfläche
- Vermahlung: Kraftfutter: 1,5–2,0mm  
Raufutter ≈3mm
- Inkubation am Pansengrund, Fixierung der Proben mit geeigneten Gewichten
- Gemischte Rationen (Grundfutter und Kraftfutter), Futtermenge schlecht definiert. Tierart spielt keine große Rolle
- für Zeitreihe: Methode „all in – separate out“
- entnommene Proben sofort in Eiswasser, dann waschen, einfrieren
- Waschen in Haushaltsmaschine, Spülprogramm kalt ca.30 min ohne Detergenz, ohne Schleudergang
- Bestimmung einer wasserlöslichen Fraktion mittels Papierfilter und eines Waschverlustes ohne Inkubation (0 h Wert)

# In situ-Methode

Auswertung, Bsp. RES

Zeit (h)	Verlust (%)
0	22,9
2	38,4
4	49,9
6	58,4
8	65,6
16	77,1
24	80,9
48	82,4



Ørskov (1992):  $p = a + b(1 - e^{-c(t-L)})$

$p$  = Abbau zur Zeit  $t$

$a$  = löslich

$b$  = potenziell abbaubar

$c$  = Abbaurrate von  $b$  (%/h)

$L$  = Lag

Effektiver Abbau:

$ED = a + (bc/(c + k))$

$k$  = Passagerate, normalerweise berechnet für:

0,08 = 8%/h = hohes Futterniveau, Milchkuh

0,05 = 5%/h = mittl. F. Niveau, Mastrind

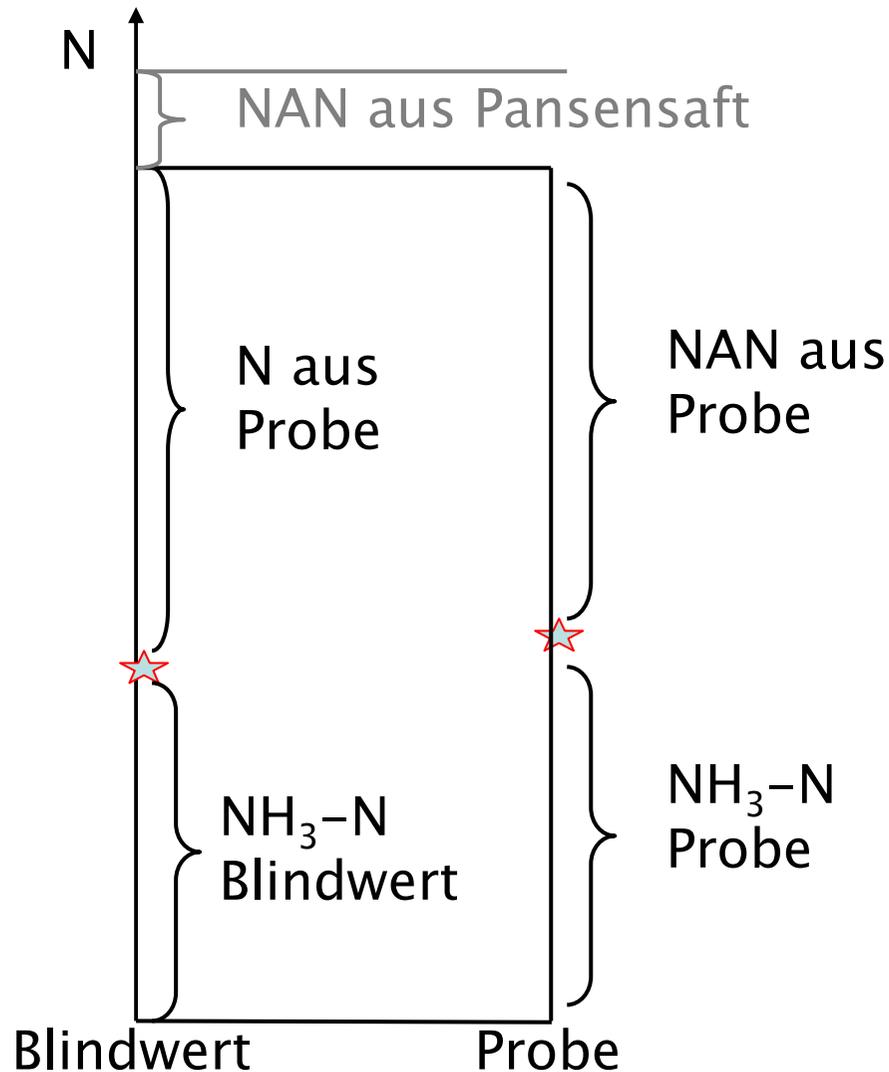
0,02 = 2%/h = niedr. F. Niveau, Erhaltung

# Alternativen zur Ermittlung des nXP *in vivo*: erweiterter Hohenheimer Futterwerttest

---

- Hohenheimer Futterwerttest, erweitert um die Bestimmung der N bzw.  $\text{NH}_3$ -N-Konzentration (Steingäß et al. 2001, nach Raab et al. 1983)

# erweiterter Hohenheimer Futterwerttest – Prinzip der nXP-Schätzung



Notwendige Bestimmungen:

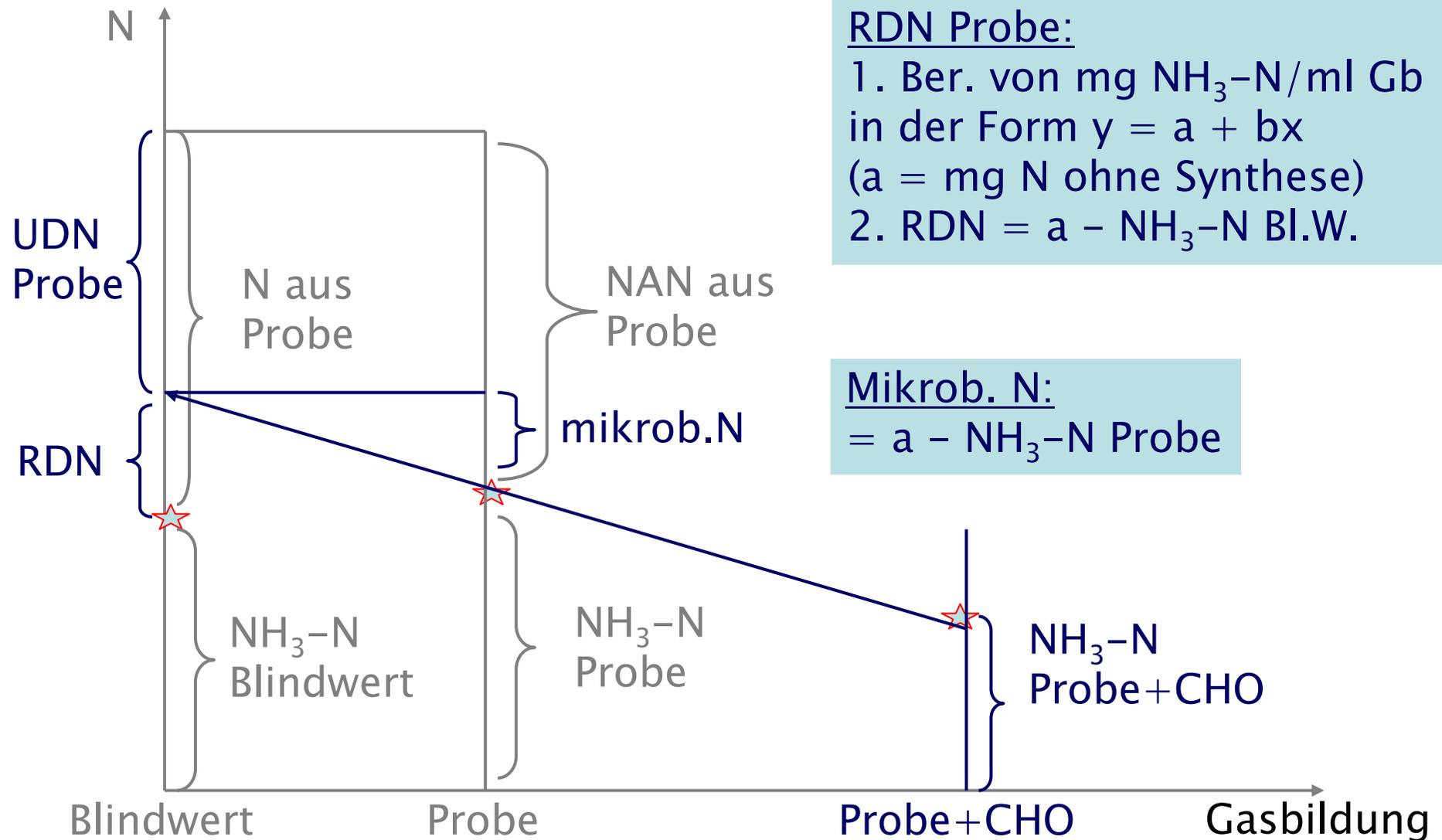
- ☆ NH<sub>3</sub> in Blindwert
- ☆ NH<sub>3</sub> in Probe
- N-Einwaage Probe

NAN Probe

$$= \text{N Probe} \\ + \text{NH}_3\text{N Blindwert} \\ - \text{NH}_3\text{N Probe}$$

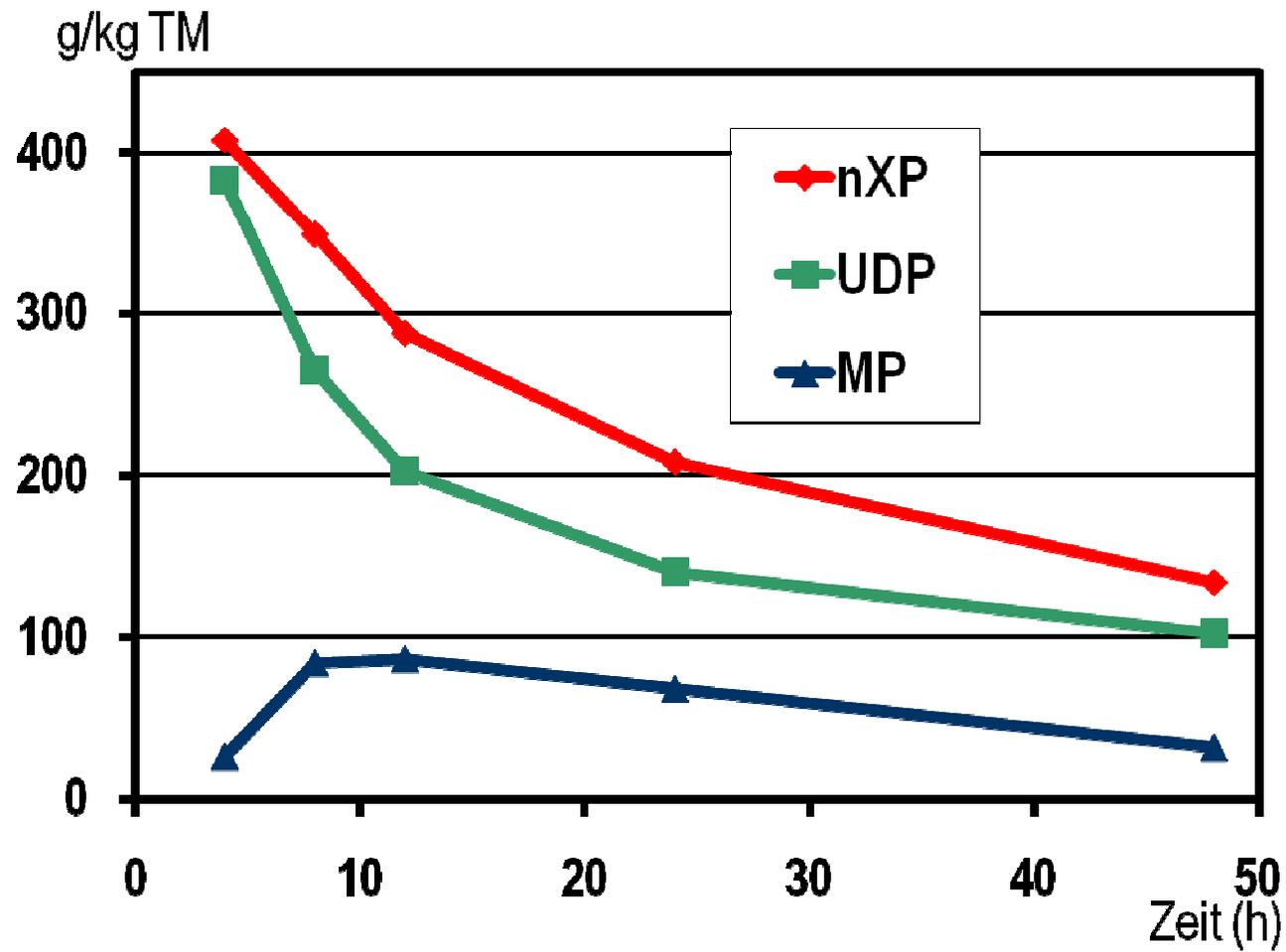
$$\text{nXP} = \text{NAN} * 6,25$$

# erweiterter Hohenheimer Futterwerttest – Ermittlung des UDP



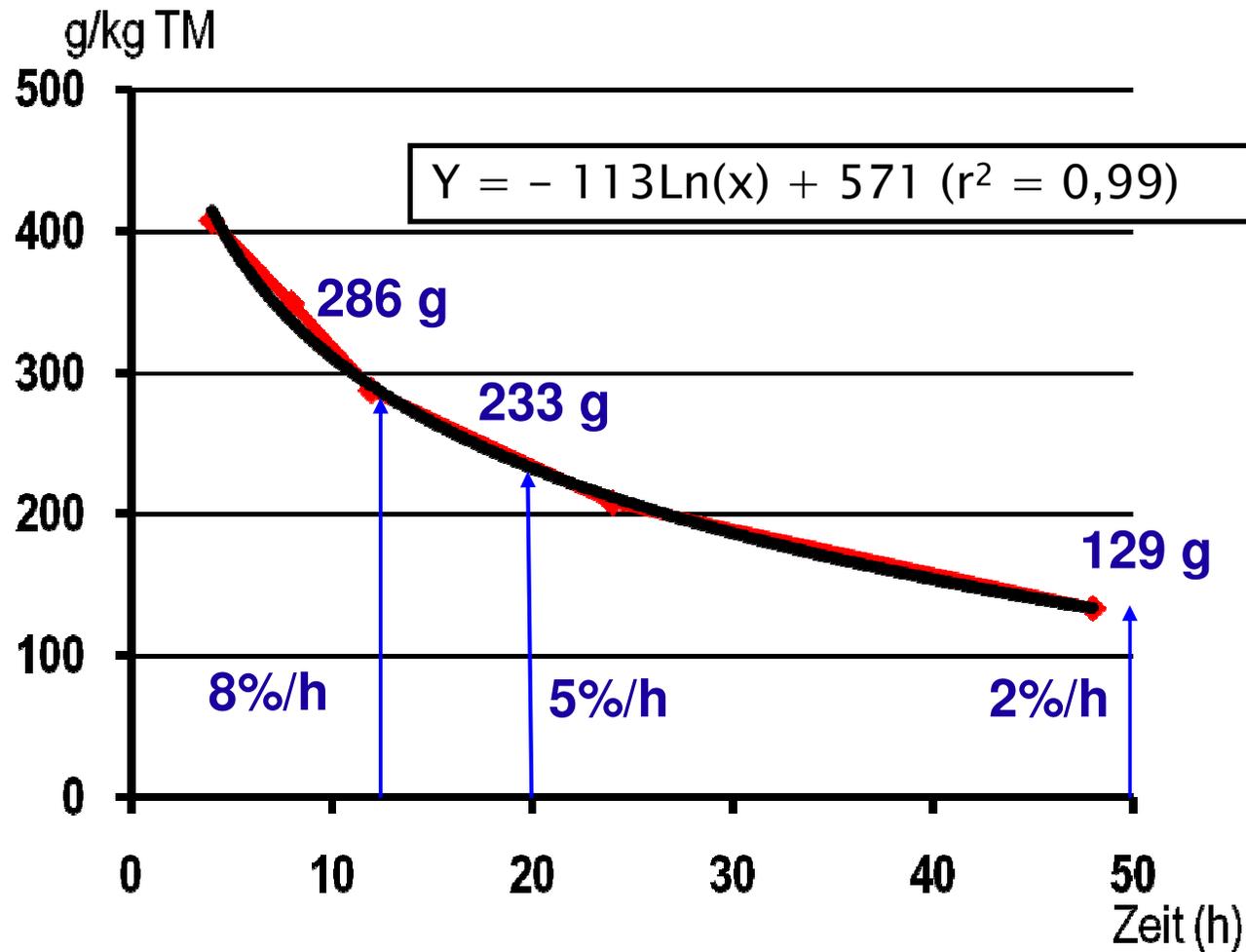
# erweiterter Hohenheimer Futterwerttest

## N-Umsatz am Beispiel von RES

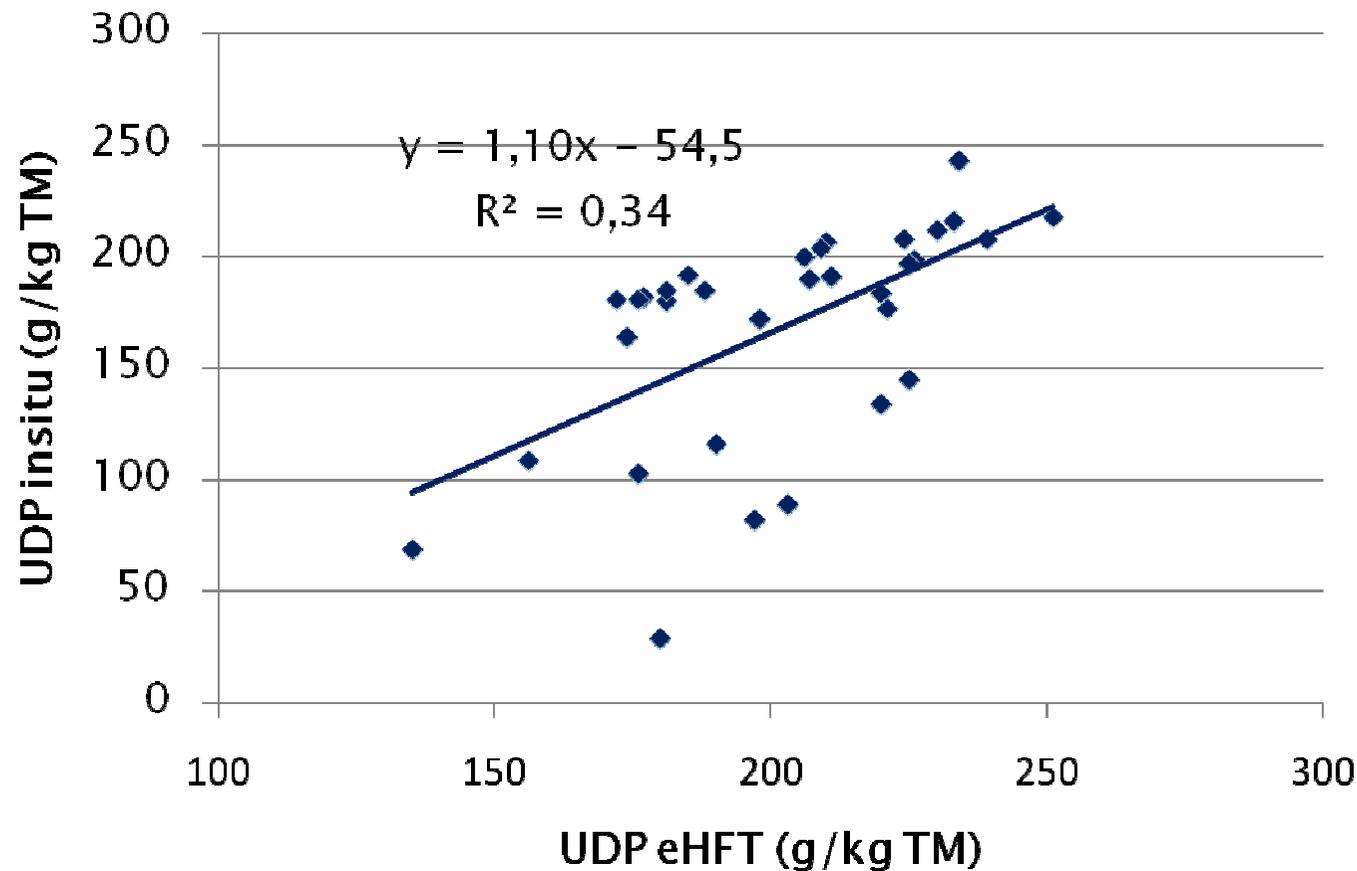


# erweiterter Hohenheimer Futterwerttest

## Ermittlung des „effektiven nXP“ (Bsp. RES)

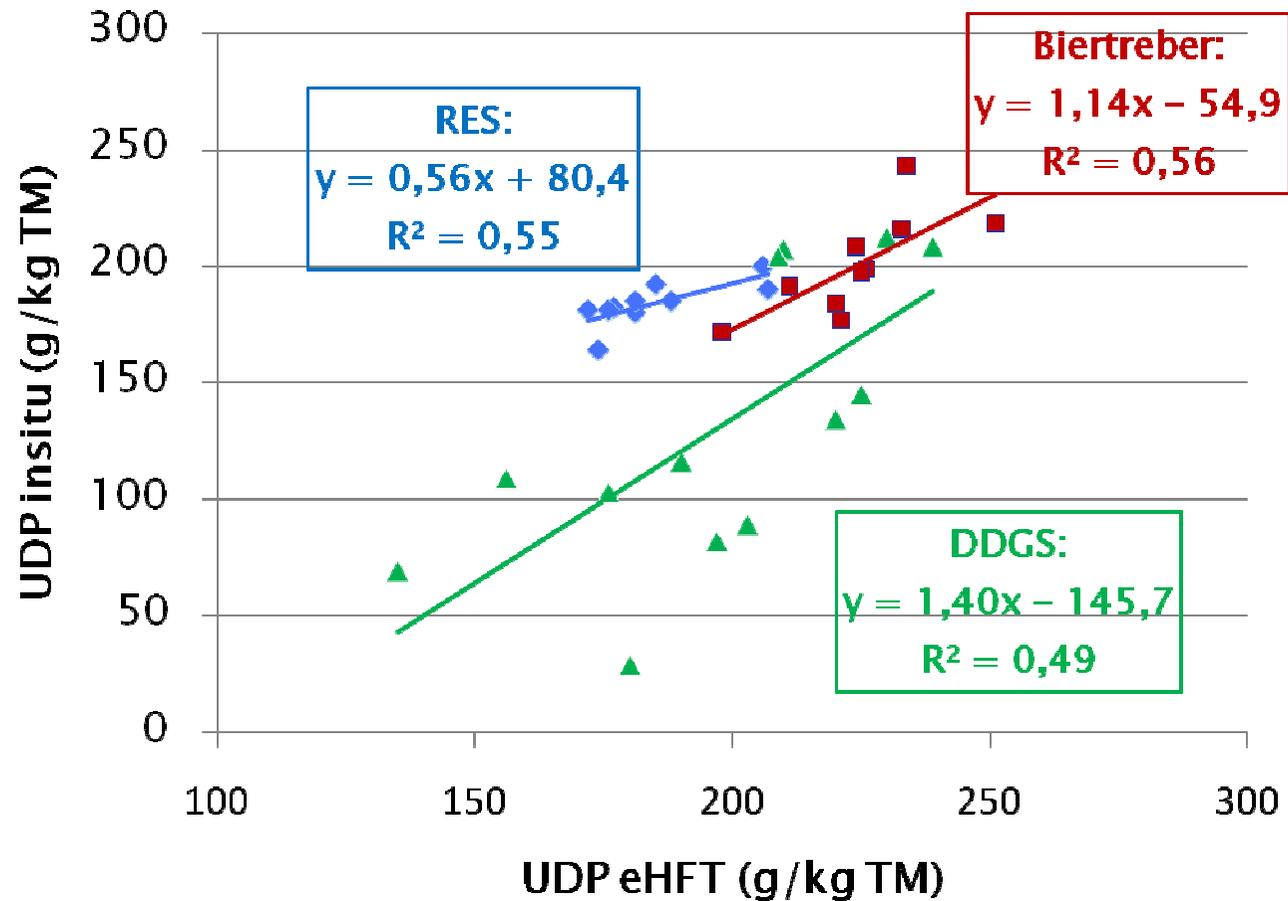


# erweiterter Hohenheimer Futterwerttest – Vergleich des UDP *in vitro* und *in situ*



Angenommene Passagerate 8 %/h

# erweiterter Hohenheimer Futterwerttest – Vergleich des UDP *in vitro* und *in situ*



Angenommene Passagerate 8 %/h

# Chemische Rohproteinfraktionierung nach CNCPS\*

(Licitra et al. 1996)

Fraktion	Protein-Fraktion	Enzymatische Abbaubarkeit	Bestimmung
A	NPN	-----	löslich in 10% Na-Wolframatlösung
B1	Reinprotein	schnell	löslich in Borat-Phosphat-Puffer
B2	Reinprotein	variabel	Differenz: pufferunlöslich - ND-unlöslich
B3	zellwandgebundenes Reinprotein	variabel - langsam	unlöslich in ND, löslich in AD
C	hitzebeschädigtes und Lignin-assoziiertes Protein (N)	unverdaulich	unlöslich in AD

\*Cornell Net Carbohydrate and Protein System

# Chemische Rohproteinfraktionierung nach CNCPS\*

–Ermittlung des UDP– (Shannak et al. 2000)

UDP

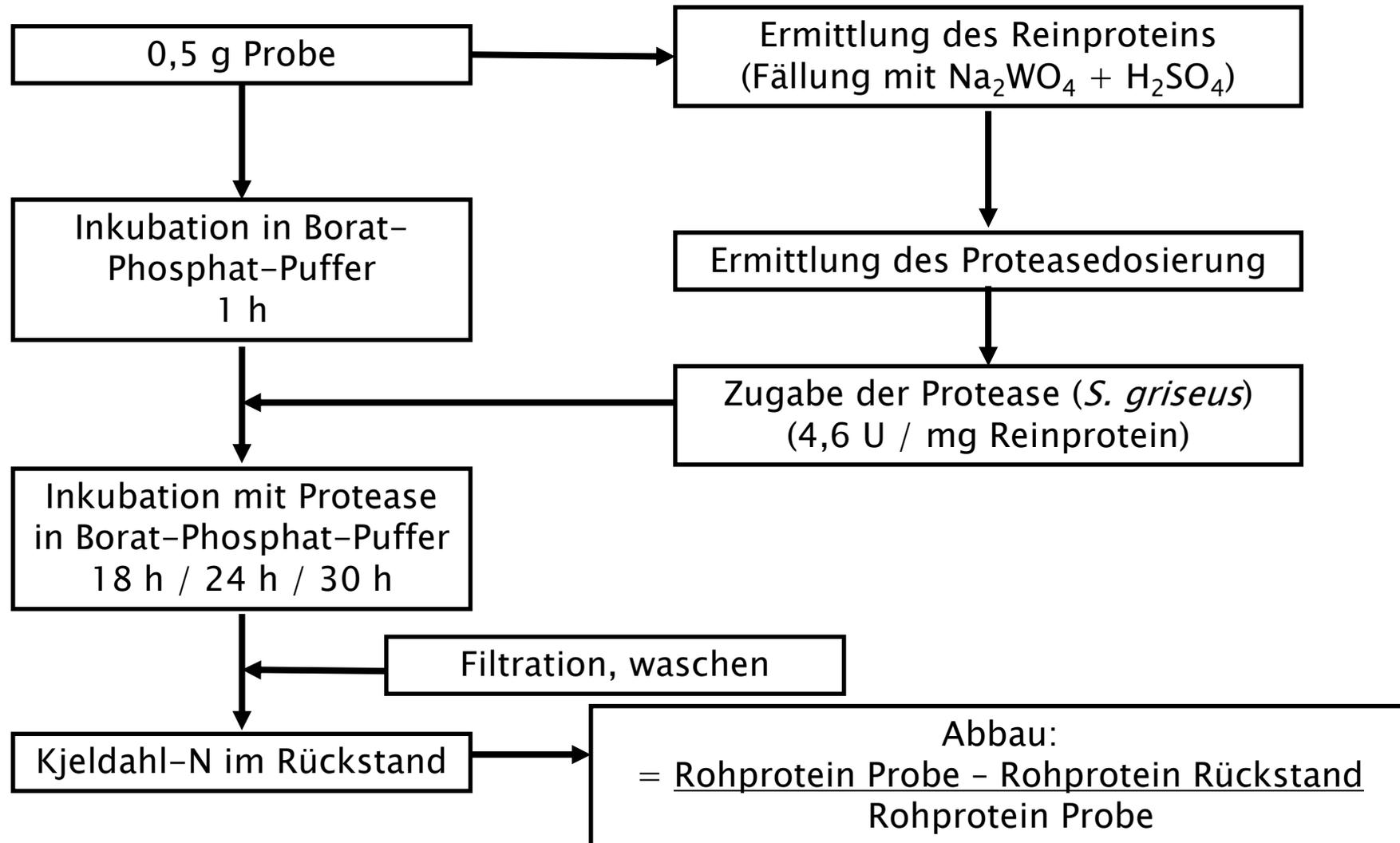
$$= \beta_0 + \beta_1*(XP/NDF) + \beta_2*(XP*B_2) + \beta_3*(XP*C) + \beta_4*(XP*(A+B_1)) \\ + \beta_5*(XP*C^2) + \beta_6*(NDF*B_1) + \beta_7*((B_3+C)*B_2) \quad [g/kg TM]$$

Für UDP8:  $r^2 = 0,94$

$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$
-98,66	-275,12	0,0028	-0,022	0,0032	0,00002	-0,002	0,0035

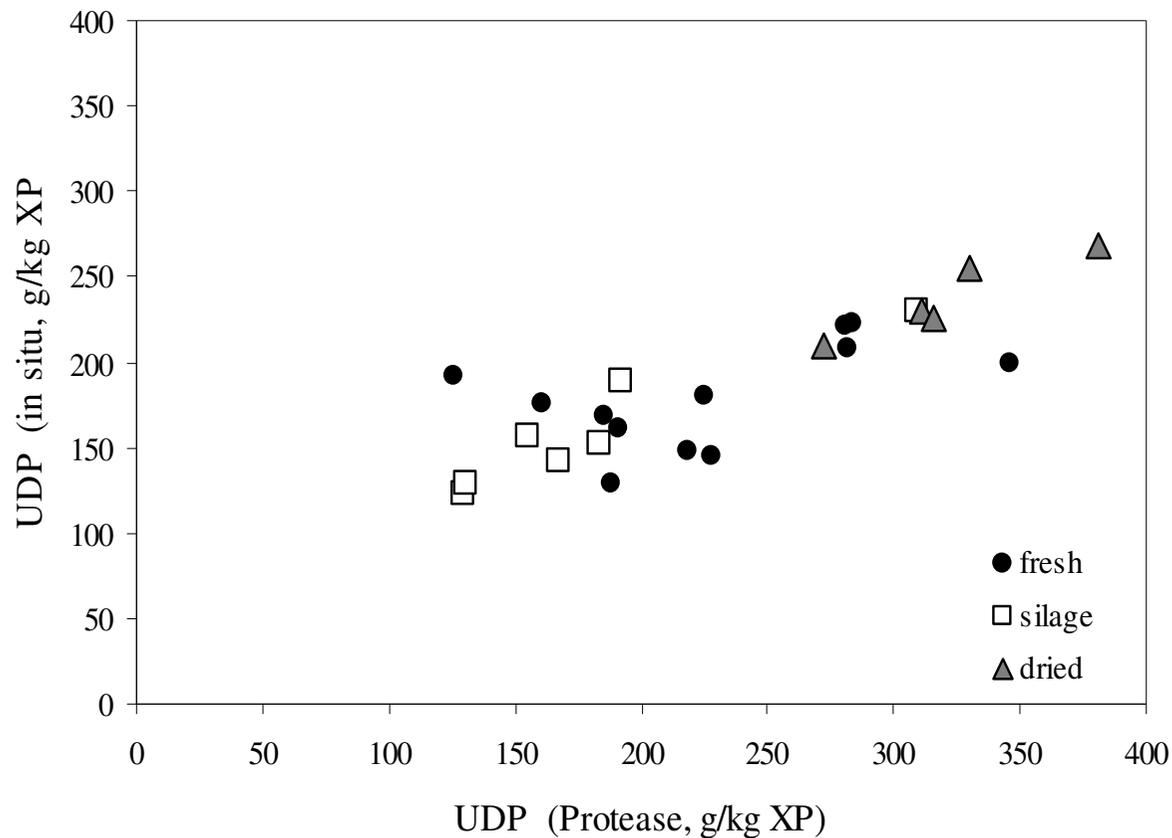
\*Cornell Net Carbohydrate and Protein System

# Enzymatischer Proteinabbau (Licitra et al. 1998; Edmunds et al. 2012)



# Enzymatischer Proteinabbau (Licitra et al. 1998; Edmunds et al. 2012)

Vergleich des UDP *in situ* mit UDP aus Proteaseabbau anhand Bonner Daten zum Grünlandfutter



# Fazit: Proteinwert

---

- Trotz Mangel an *in vivo*-Daten Proteinwertschätzung von Futtermitteln mit Labormethoden möglich
- Voraussetzung: einheitliche, standardisierte, durch Ringversuche überprüfte Methodik
- Kalibrierung ersatzweise an *in situ*-Daten

# Anwendung des Systems peNDF bei Teil-Mischrationen

1	Siebung der Teilmischung => Ermittlung des Gehaltes an peNDF
2	Berücksichtigung der TTMR-Aufnahme (kg TM)
3	2 % peNDF im Kraftfutter (Konstante)
4	Berücksichtigung der Kraftfutteraufnahme
5	Bezug auf Gesamt-TM Aufnahme
	Beispiel:
	$(36\% \text{ peNDF}_{\text{TTMR}} * 16\text{kg} + 2\% \text{ peNDF}_{\text{KF}} * 5\text{kg}) / 21\text{kg TM}$ $= 27,9 \% \text{ peNDF i. TM}$

# ermittelt bei 21 Milchleistungsfuttern durch Naßsiebung

# Wiederholbarkeit der Siebung (Schüttelbox)

---

n = 8 unerfahrene Probanden  
(Studierende Allg. Agrarwiss., Agrarbiologie, ♀, ♂)

	TMR 1. Laktationshälfte	TMR 2. Laktationshälfte
	MW ± SD (von - bis)	MW ± SD (von - bis)
NDF % i. TM	<b>32,9</b>	<b>38,7</b>
peNDF > 1,18mm (% i. TM)	<b>31,6 ± 0,2</b> (31,4 - 31,9)	<b>37,0 ± 0,2</b> (36,9 - 37,2)

⇒ Es sind vor Ort ohnehin mindestens 2, besser 3 Proben derselben TMR zu sieben