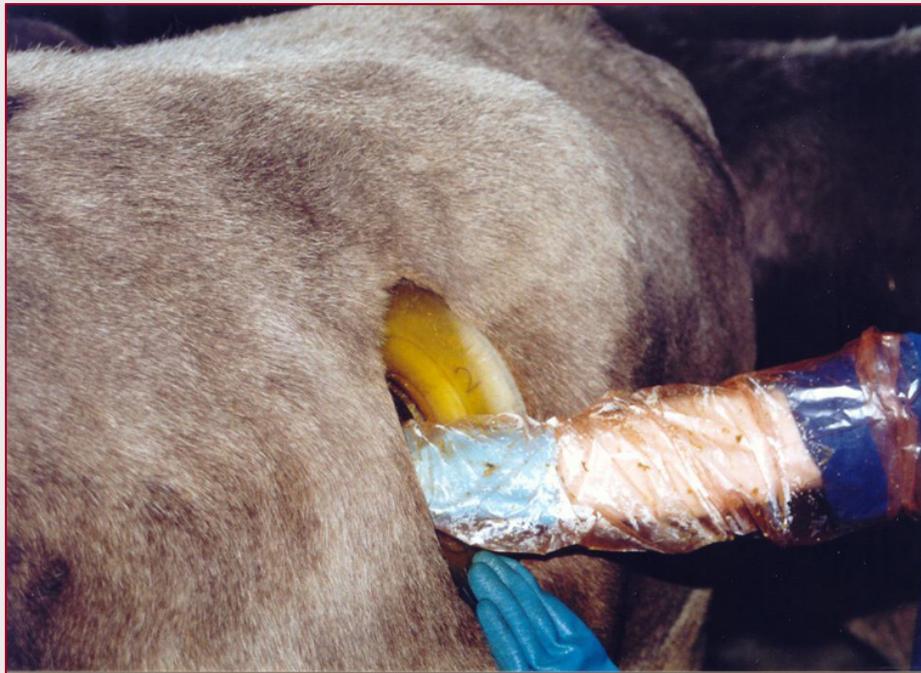


# Charakterisierung der Futtermittel über die Protein- und Kohlenhydrat-Fraktionen des Cornell-Systems und die in situ-Technik

L. Gruber, B. Steiner, W. Wenzl, L. Haberl

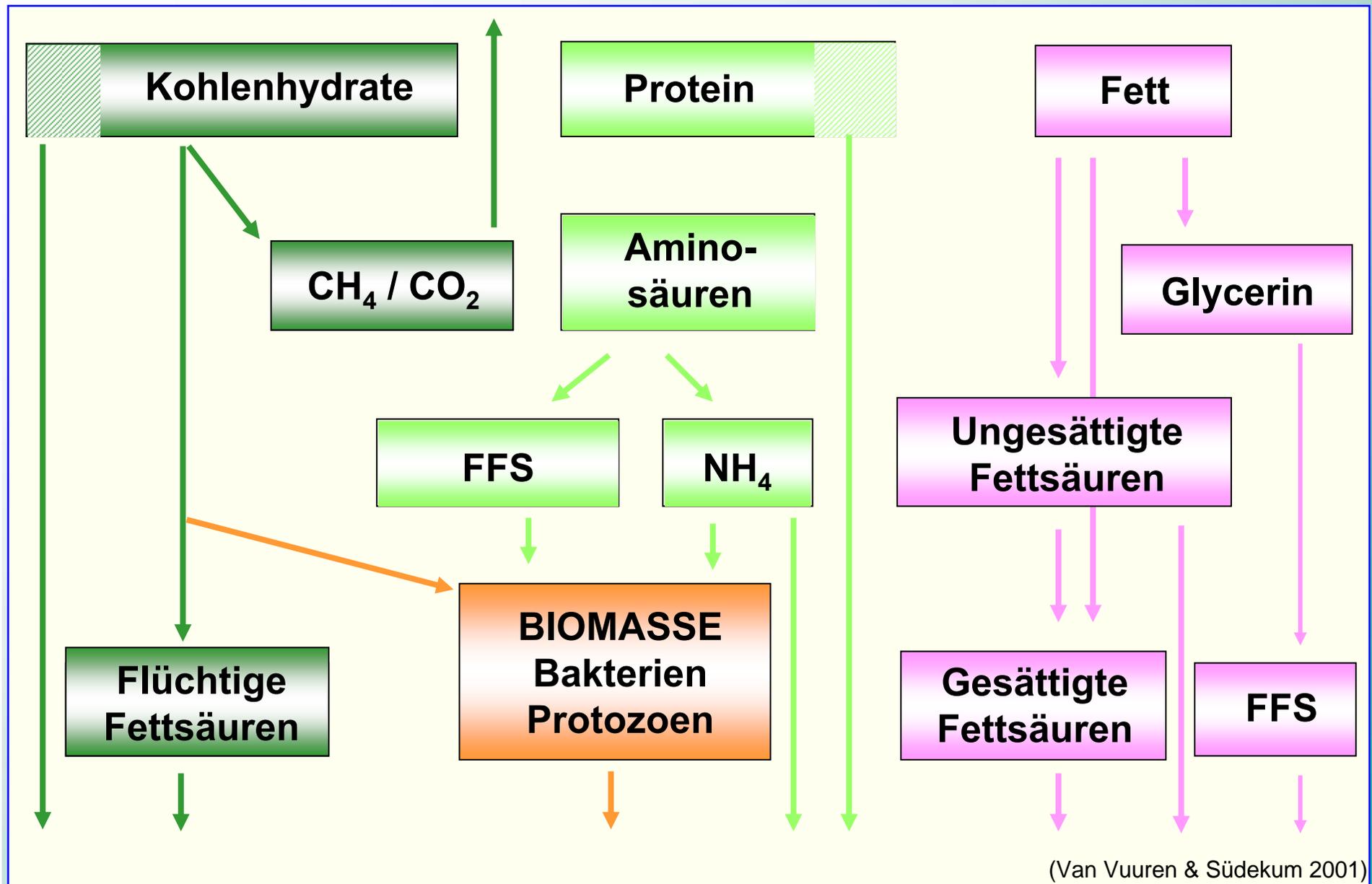


Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber  
LFZ Raumberg-Gumpenstein

# Geschichtlicher Überblick

- **Einhof (1806) – Nahrungsfähigkeit vegetabelischer Produkte**
- **Henneberg & Stohmann (1860, 1864) – Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer**
- **AOAC (1940): Empfehlung, NfE nicht anzuführen**
- **Van Soest (1963, 1967): Use of detergents in the analysis of fibrous feeds (ADF, NDF)**
- **Van Soest (1982, 1994): Nutritional Ecology of the Ruminant**
- **Van Soest et al. (1991): Methods for dietary fiber ...  
... in relation to animal nutrition**
- **Fox, Sniffen, Russel (1992): Cornell net carbohydrate and protein system (CNCPS)**
- **Südekum (1989, 1997): Verdauung Zellwand, Lignin, Pansenstoffw.**
- **Mertens (1994, 1997, 2002): Regulation feed intake, fiber requirements, off. NDF method**
- **Uden et al. (2005): Use of detergent system terminology (NDFom, aNDFom, etc.)**

# Nährstoffabbau im Pansen



## Versuchsplan Wiesenfutter

Schnittzeitpunkte	Nutzungsintensität		
	2 Schnitte	3 Schnitte	4 Schnitte
Datum 1	25. Juni	30. Mai	20. Mai
Datum 2	30. September	30. Juli	30. Juni
Datum 3		30. September	10. August
Datum 4			30. September

### 3 Schnitthäufigkeiten

2, 3 und 4 Schnitte pro Jahr

### 3 Düngungsniveaus

70, 140 und 210 kg N pro ha

### 3 Standorte

Pflanzengesellschaften, Böden

### 3 Konservierungsarten

Grünfutter, Silage, Heu

## Versuchsplan Silomais

### 3 Sorten

Fuxxol *RZ 240*

Romario *RZ 270*

Atalante *RZ 290*

### 4 Erntezeitpunkte

Milchreife

Beginn Teigreife

Mitte Teigreife

Ende Teigreife

### 3 Standorte

Gumpenstein

Kobenz

Lambach

### 2 Konservierungen

Grünmais

Maissilage

# Einzelfuttermittel (n = 38)

## Energieträger (n = 17)

Gerste  
Weizen  
Hafer  
Roggen  
Triticale  
Mais  
CCM-Silage  
Maiskornsilage  
Sorghum-Hirse  
Weizenfuttermehl  
Weizenkleie  
Pressschnitzel  
Trockenschnitzel  
Sojaschalen  
Futterrübe  
Kartoffel  
Tapioka

## Proteinträger (n = 21)

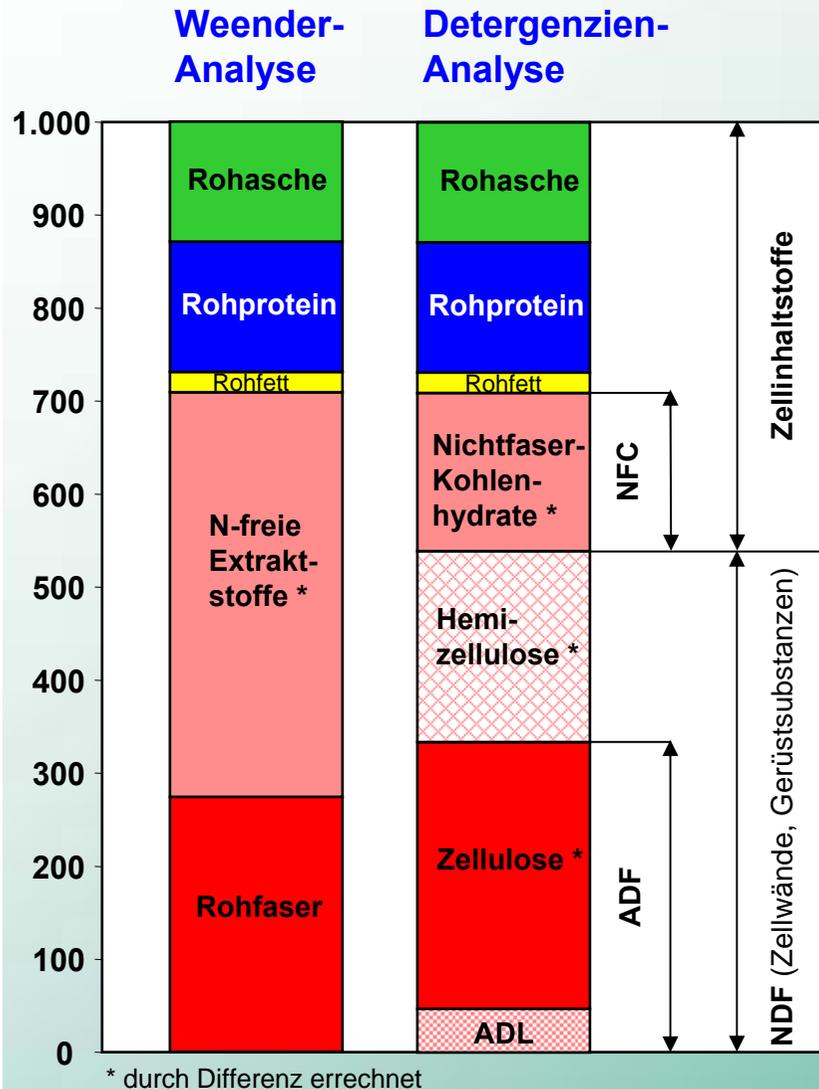
Ackerbohne  
Erbsen  
Sojabohne  
Rapssamen  
Sonnenblumensamen  
Sojaextraktionsschrot 44  
Sojaextraktionsschrot 50  
Sojaextraktionsschrot 44 geschützt  
Rapsextraktionsschrot  
Rapsextraktionsschrot geschützt  
Sonnenblumenextraktionsschrot  
Rapskuchen  
Sonnenblumenexpeller  
Kürbiskernkuchen  
Palmkernexpeller  
Biertrebersilage  
Biertreber getrocknet  
Weizenschlempe getrocknet  
Maisschlempe getrocknet  
Maizeglutenfeed  
Maiskleber



**1.**

## **Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)**

# Charakterisierung der Kohlenhydrate



## Annahme der Weender Analyse:

Rohfaser = Gerüstsubstanzen, niedrige Verdaulichkeit

N-freie Extraktstoffe = leichtverdauliche Kohlenhydrate (Nichtfaser)

## Problem:

Rohfaser beschreibt Gerüstsubstanzen nicht genau:

- Erfasst nicht die gesamte Faser (Hemizellulose)
- Teil des Lignins gelöst (→ NfE!)
- Zusammensetzung der Gerüstsubstanzen variiert je nach Spezies (Gräser, Leguminosen, Umbelliferen)

## Gerüstsubstanzen (Faser):

Nach Van SOEST (1982, 1994):

In ND-Lösung unlösliche Matrix

NDF: Zellulose, Hemizellulose, Lignin

Zellulose: ADF – ADL

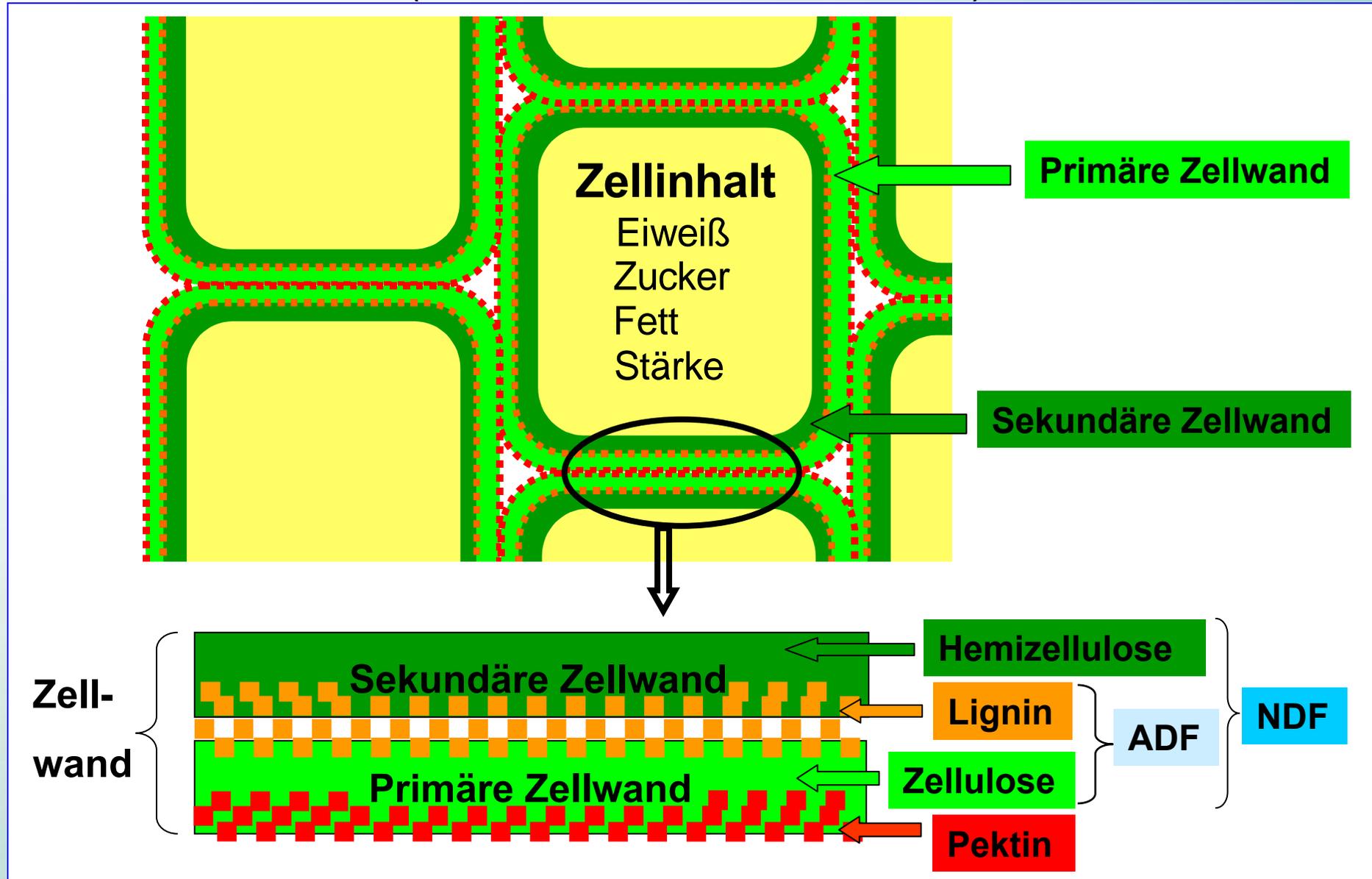
Hemizellulose: NDF – ADF

# Kritikpunkte an der Rohfaseranalyse

- **Hemizellulose geht in Lösung**
- **teilweise Lösung des Lignins**
- **auch geringe Teile der Zellulose in Lösung**
  - **Rohfaser ist nur Teil der Faser!**
  
- **Anteile von Zellulose, Hemizellulose und Lignin an der Gesamtfaser stark abhängig von Pflanzenspecies (Gräser, Leguminosen, Umbelliferen)**
  - **Umrechnung von Rohfaser in Gerüstsubstanzen nicht möglich**
  
- **Löslichkeit von Zellulose, Hemizellulose und Lignin bei Rohfaser-Bestimmung stark abhängig von Pflanzenspecies**
  - **NfE sind fehlerhaft!**  
**Enthalten nicht nur Nichtfaser-Kohlenhydrate,**  
**sondern Hemizellulose und Teile des Lignins, daher Verdaulichkeit der NfE z.T. niedriger als der Rohfaser**

# Schematischer Aufbau der Pflanzenzelle

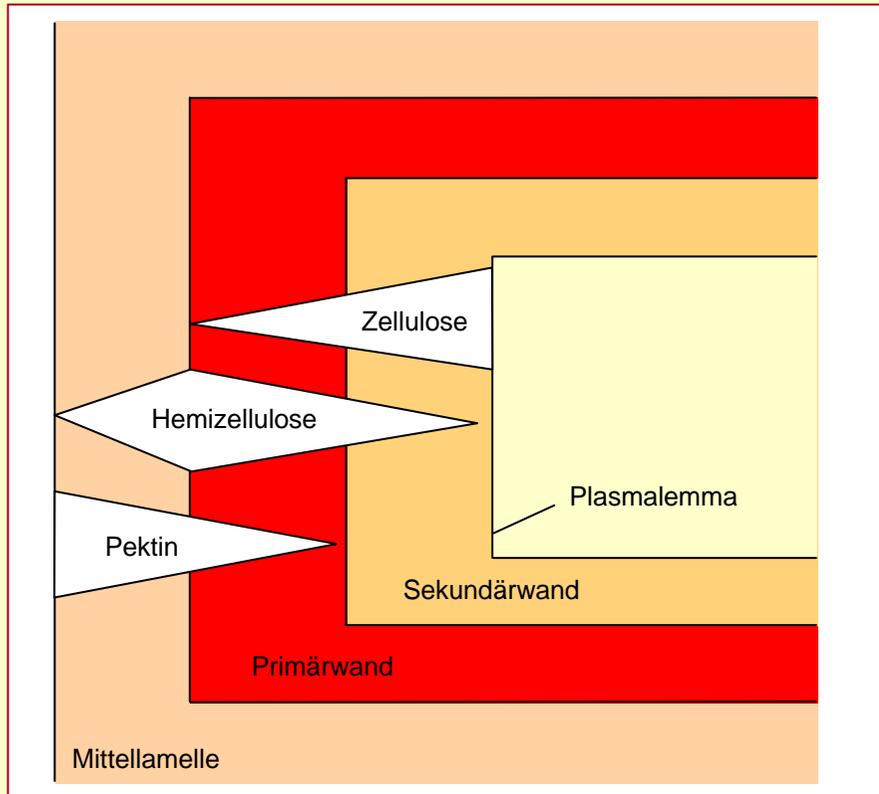
(Steinwiderer & Sobotik - nach Nultsch 2001)



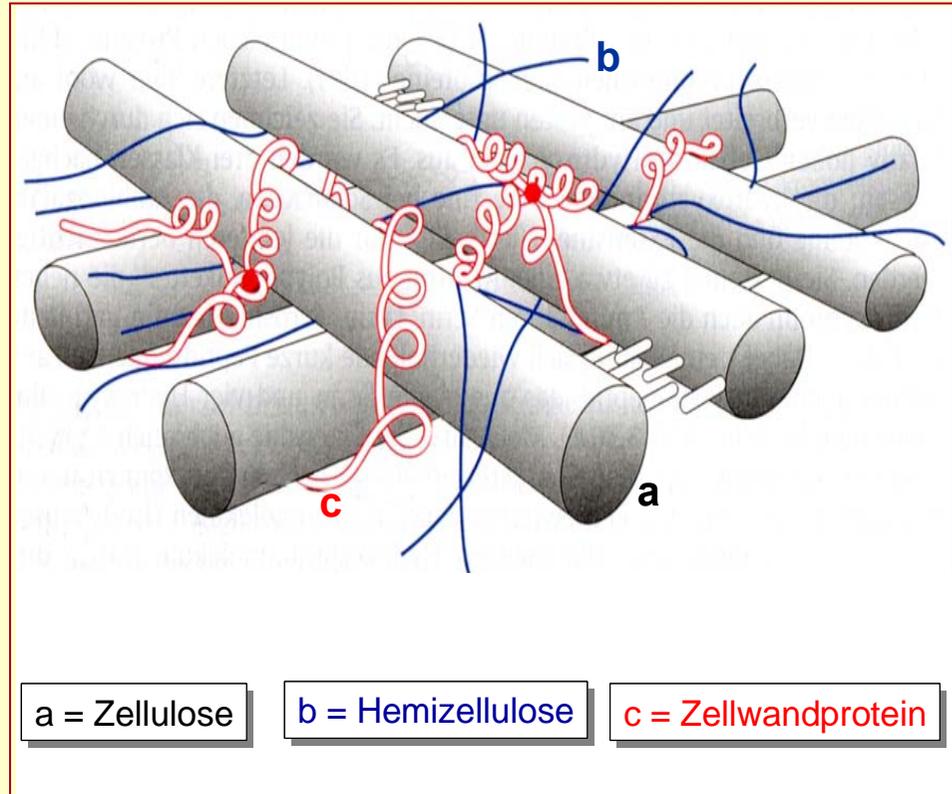
# Definition „Faser“

Fasern sind polymere pflanzliche Substanzen, die von den Verdauungsenzymen der Säugetiere nicht gespalten werden können (Van Soest 1980) – Zellulose, Hemizellulose, Lignin, (Pektin, Gummi, Galaktane etc.)

(nach FRANZ 1991)



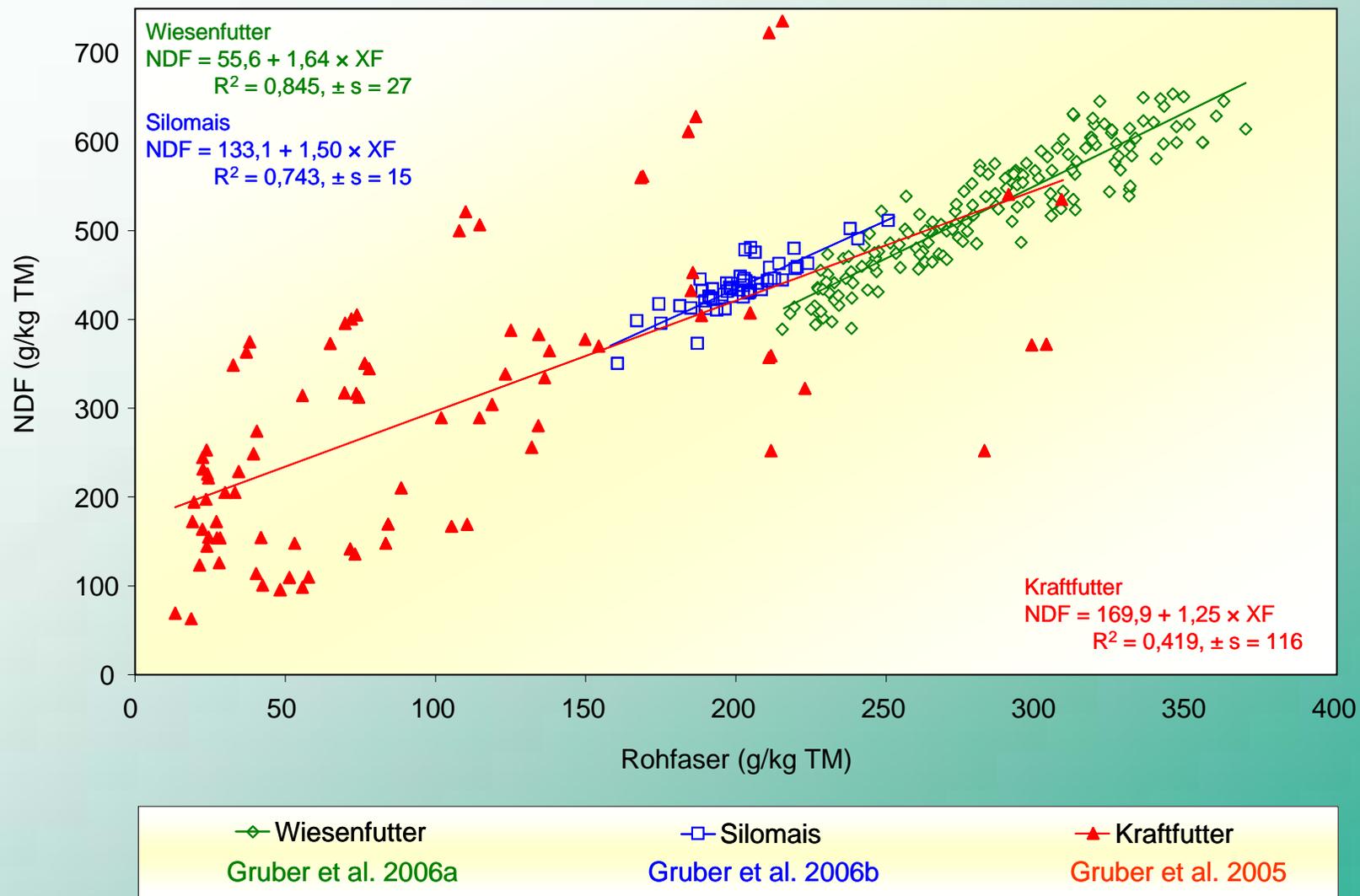
(NULTSCH 2001)



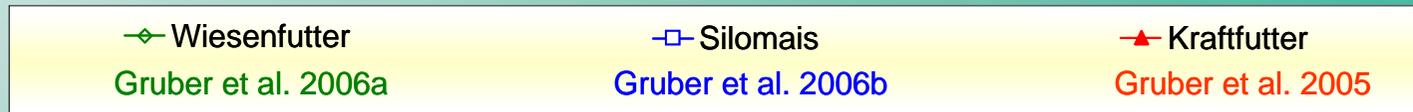
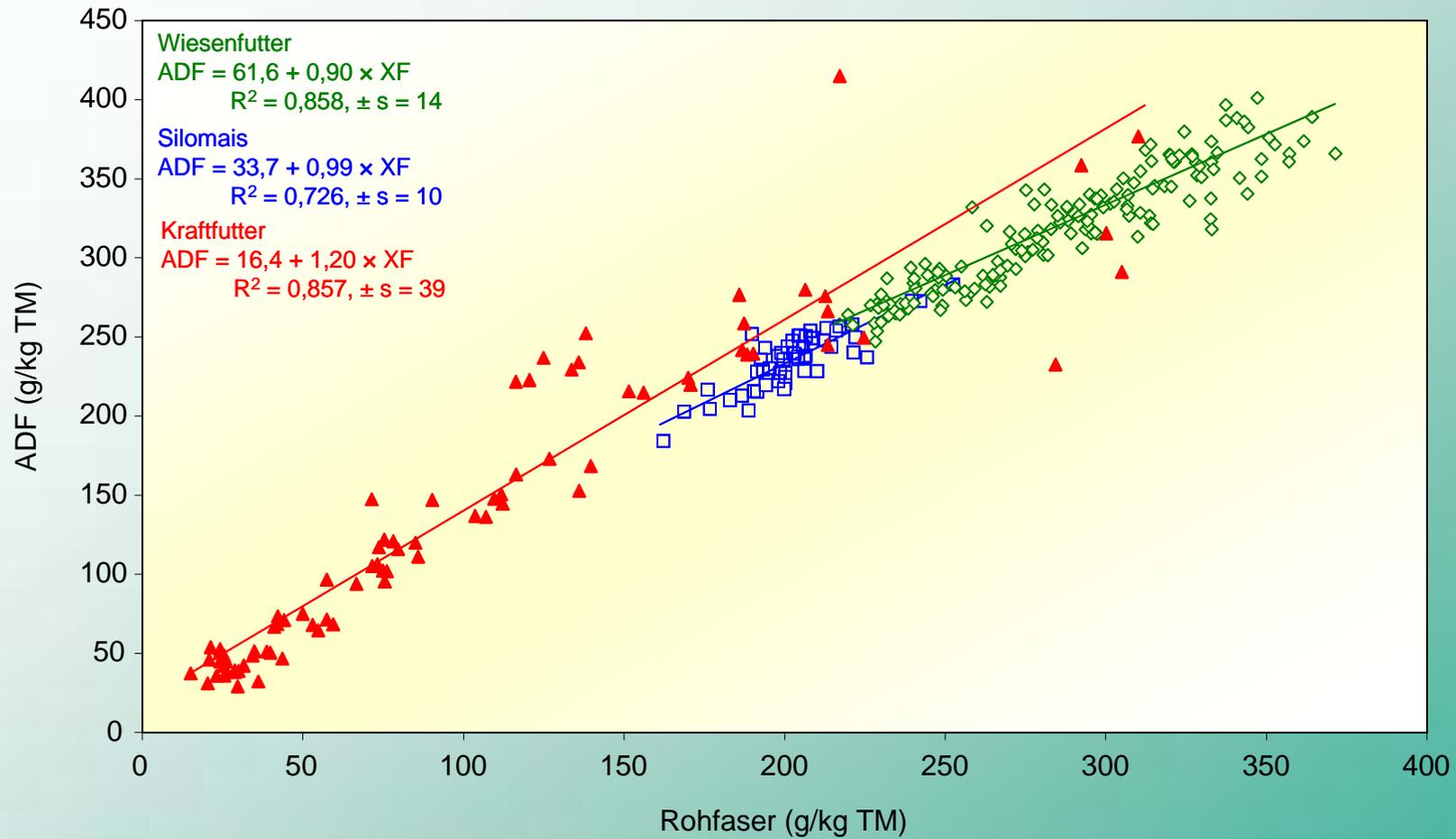
**Primärwand:** 10-25 % Zellulose, 25-50 % Hemizellulose, 10-35 % Pektin, 10 % Protein

**Sekundärwand:** 40-80 % Zellulose, 10-40 % Hemizellulose, 5-25 % Lignin

# Beziehungen zwischen Rohfaser und NDF



# Beziehungen zwischen Rohfaser und ADF



# Fraktionierung der Kohlenhydrate nach dem CNCPS ( $\Rightarrow$ nach Abbauraten im Pansen)

$$\text{CHO} = 1000 - \text{XP} - \text{XL} - \text{XA}$$

## 4 Fraktionen

Fraktion A: Zucker und flüchtige Substanzen

Fraktion B<sub>1</sub>: Stärke und Pektine

Fraktion B<sub>2</sub>: verdauliche Faserkohlenhydrate

Fraktion C: unverdauliche Faser

### 1. Faser-Kohlenhydrate (FC): Zellulose, Hemizellulose, Lignin

$$\text{Fraktion C} = \text{ADL} * 2,4$$

$$\text{Fraktion B}_2 = \text{NDF} - \text{NDFIP} - \text{C}$$

$$\text{FC} = \text{B}_2 + \text{C}$$

### 2. Nichtfaser-Kohlenhydrate (NFC): Zucker, Stärke, Pektin

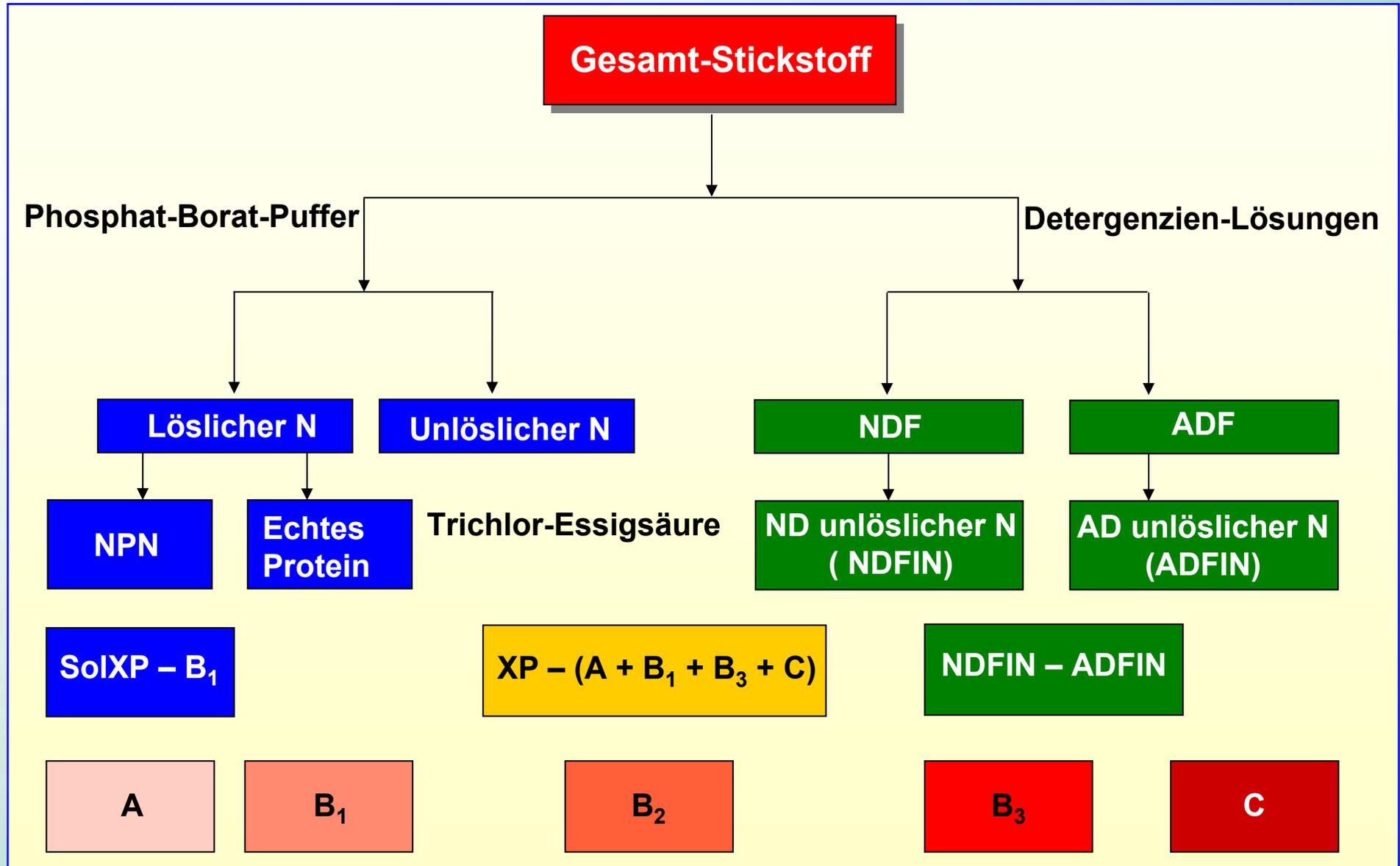
$$\text{NFC} = \text{CHO} - \text{FC}$$

Fraktionierung in A und B<sub>1</sub> nach CNCPS-Tabelle (Feed Library)

$$\text{Fraktion A} = \text{NFC} * \text{A}\%$$

$$\text{Fraktion B}_1 = \text{NFC} - \text{A}$$

# Stickstoff-Fraktionen im CORNELL-System



Gruber (2001)

(nach KRISHNAMOORTHY et al. 1982)

# Fraktionierung des Proteins nach dem CNCPS ( $\Rightarrow$ nach Abbauraten im Pansen)

$$XP = \text{Kjeldahl-N} * 6,25$$

## 5 Fraktionen

**Fraktion A:** sofort und vollständig abbaubares Protein (NPN)

**Fraktion B<sub>1</sub>:** rasch abbaubares, lösliches echtes Protein (Albumin, Globulin)

**Fraktion B<sub>2</sub>:** Protein mit mittlerer Abbaurrate (Glutelin)

**Fraktion B<sub>3</sub>:** langsam abbaubares Protein (Extensin, Prolamin)

**Fraktion C:** unabbaubares Protein (nicht verfügbar, an Zellwand gebunden)

**Lösliches Protein:** Phosphat-Borat-Puffer (SolXP)

*(nach Krishnamoorthy et al. 1982, Licitra et al. 1996)*

**Lösliches echtes Protein:** Präzipitieren mit Trichlor-Essigsäure

$$\text{NPN} = \text{SolXP} - B_1$$

**NDFIP:** in Gerüstsubstanzen gebundener N

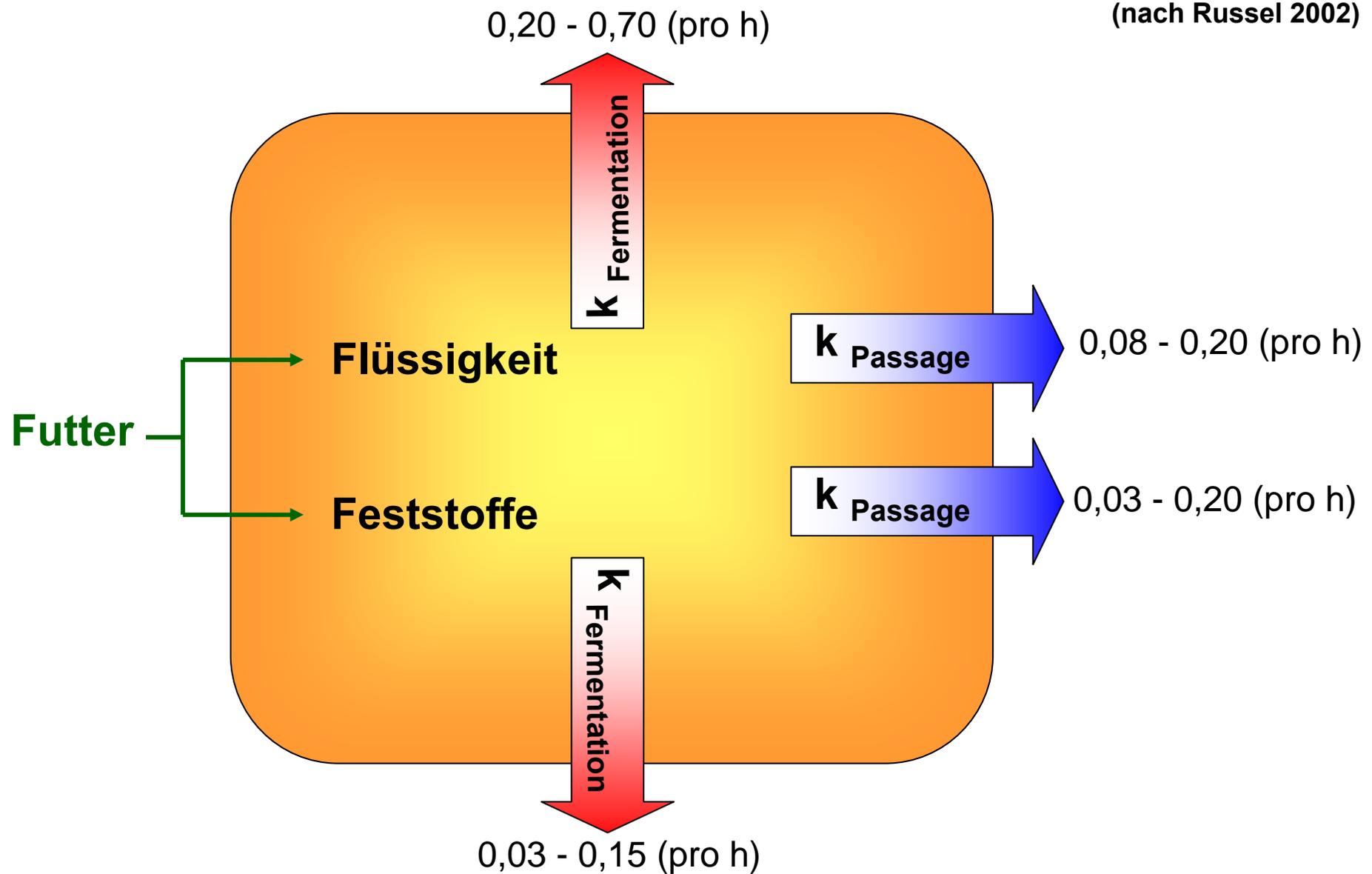
**ADFIP:** unabbaubares Protein (C)

$$B_3 = \text{NDFIP} - \text{ADFIP}$$

$$B_2 = XP - (A + B_1 + B_3 + C)$$

# Passage- und Fermentationsraten im Pansen

(nach Russel 2002)



# Errechnung der Verdaulichkeit im Pansen nach dem CNCPS

$$\text{deg} = \frac{(k_f)}{(k_f + k_p)}$$

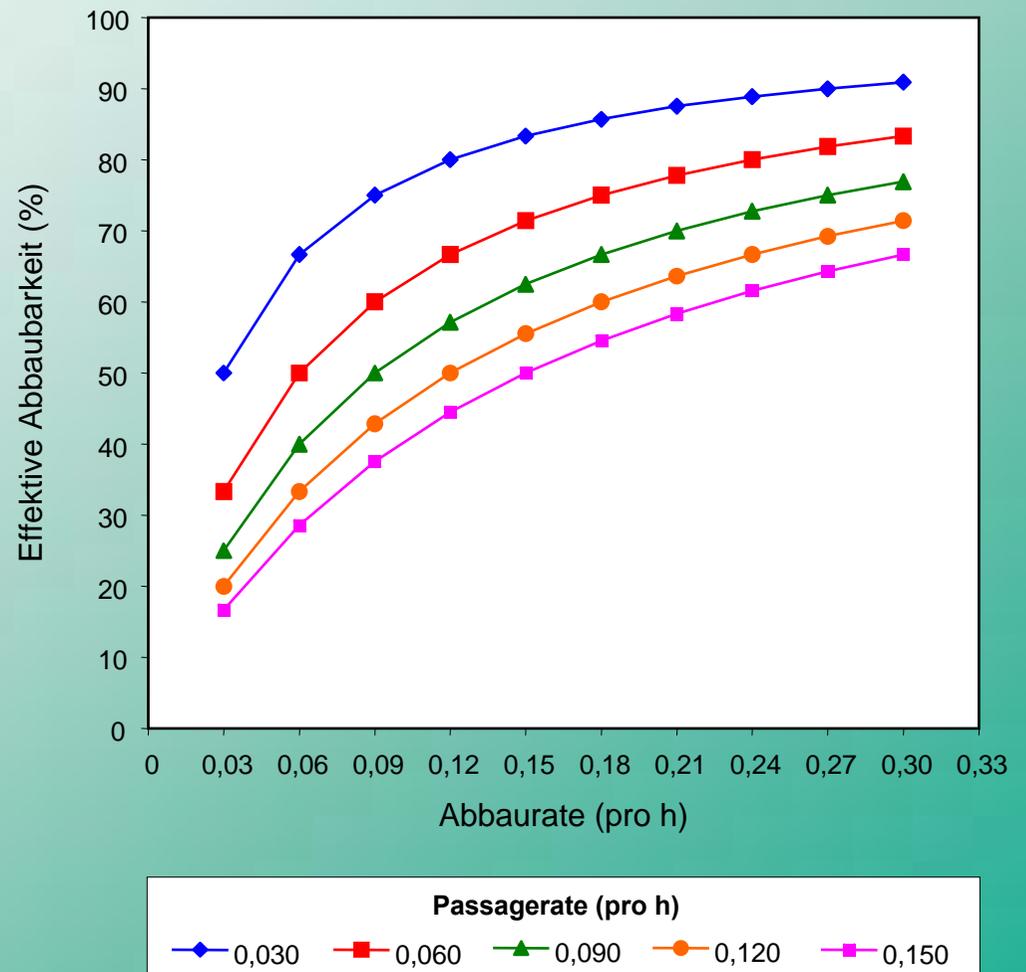
(Russel 2002)

## Einfluss auf Fermentationsrate $k_f$ :

Eigenschaft des Futters  
(Wiederkauen)  
(Futterverarbeitung)

## Einfluss auf Passagerate $k_p$ :

Futteraufnahme  
Art des Futters (GF, KF)  
Statischer Auftrieb  
Abbaukinetik  
Verarbeitung (Häckseln, Mähen)





**1.a**

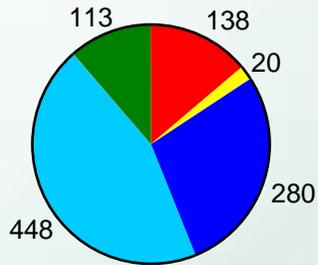
**Wiesenfutter**

# CNCPS-Fractionen von Wiesenfutter

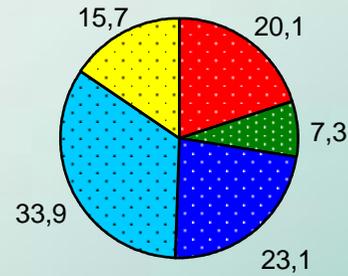
## in Abhängigkeit von der Konservierungsform

GRÜNFUTTER

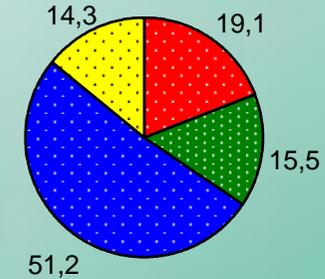
**Weender Analyse**  
(g/kg TM)



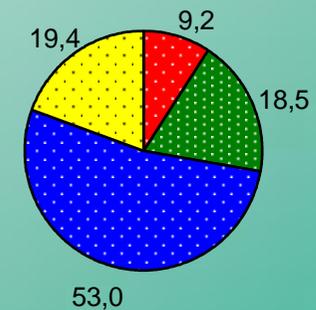
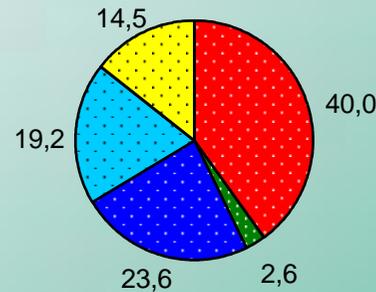
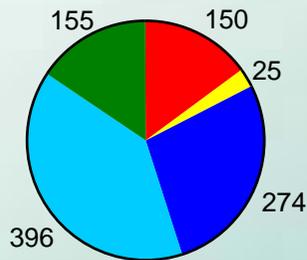
**CNCPS Protein-Fractionen**  
(% des XP)



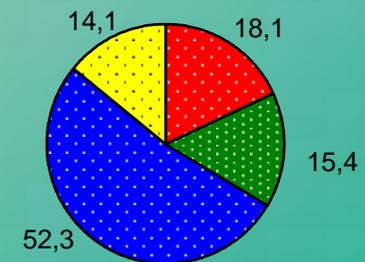
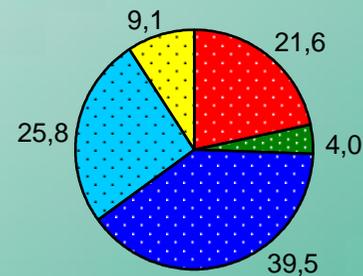
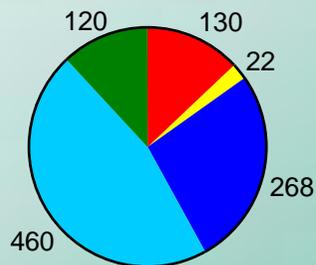
**CNCPS CHO-Fractionen**  
(% der CHO)



GRASSILAGE



HEU



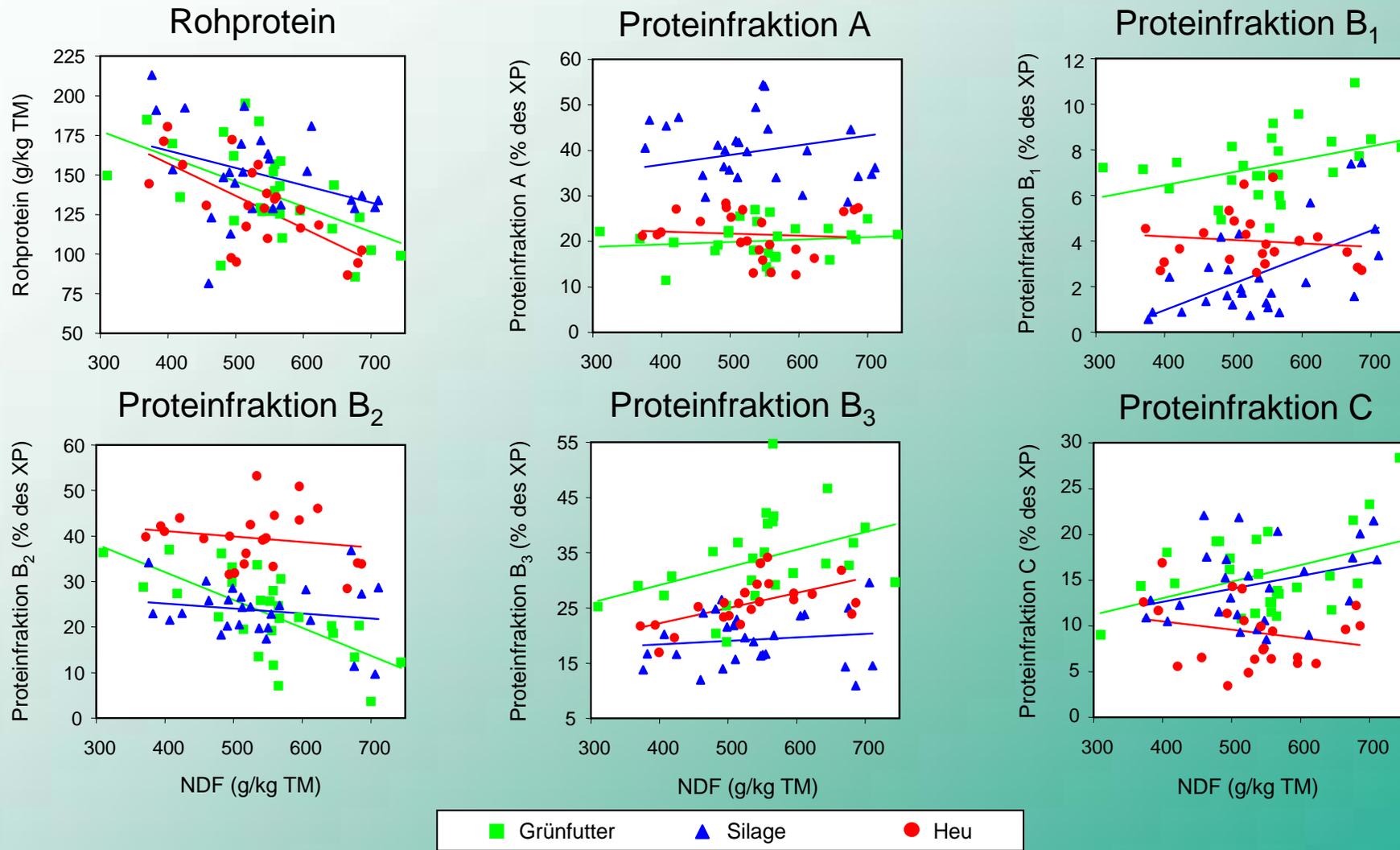
■ XP ■ XL ■ XF ■ XX ■ XA

■ A ■ B<sub>1</sub> ■ B<sub>2</sub> ■ B<sub>3</sub> ■ C

■ A ■ B<sub>1</sub> ■ B<sub>2</sub> ■ C

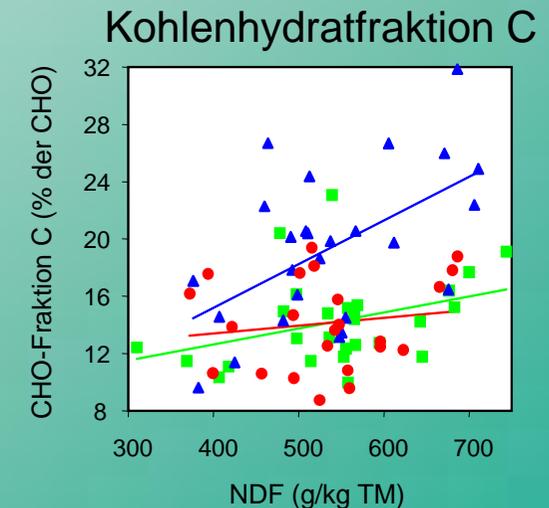
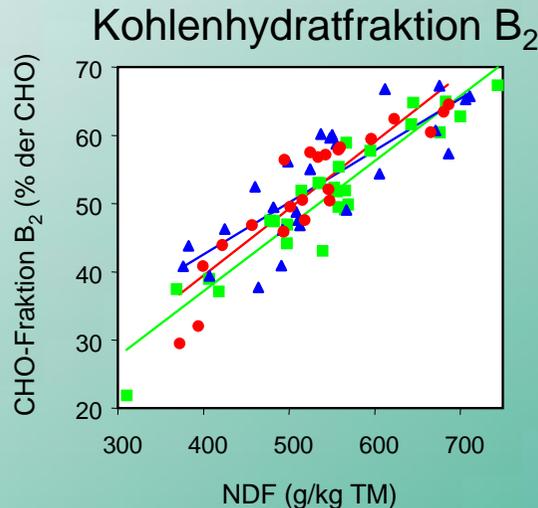
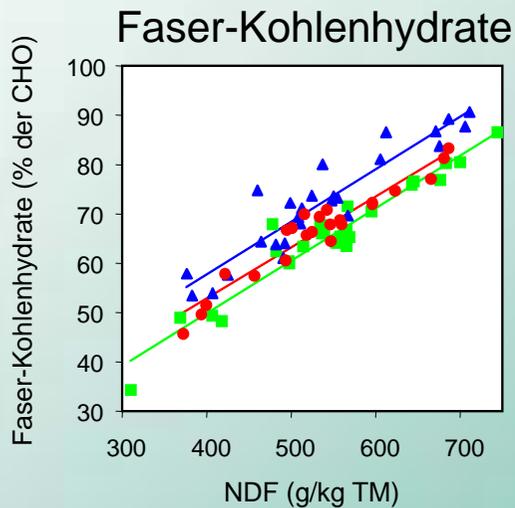
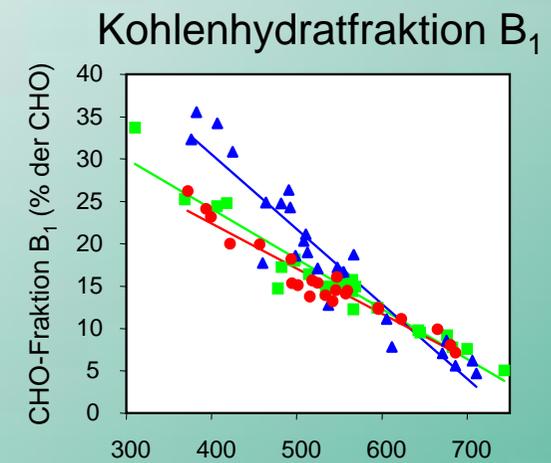
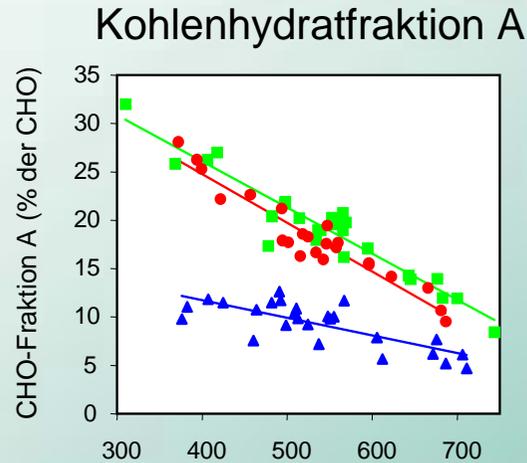
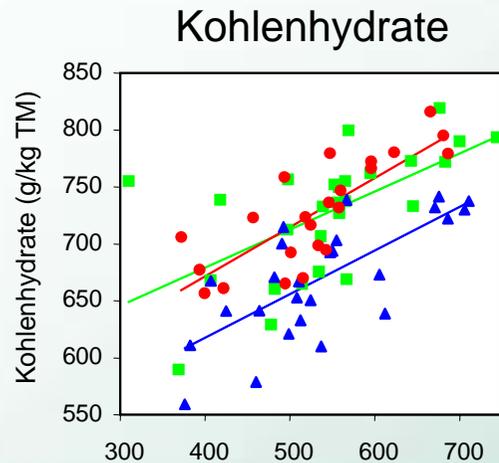
# Proteinfraktionen von Wiesenfutter

## in Abhängigkeit vom NDF-Gehalt



# Kohlenhydratfraktionen von Wiesenfutter

## in Abhängigkeit vom NDF-Gehalt

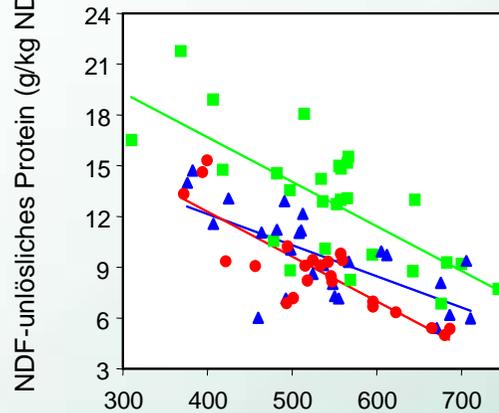


■ Grünfutter    ▲ Silage    ● Heu

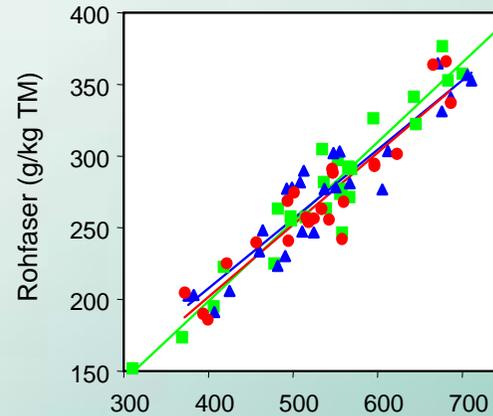
# NDF- und ADF-unlöslicher N sowie Kohlenhydrate

nach Weender und CNCPS Analyse in Wiesenfutter

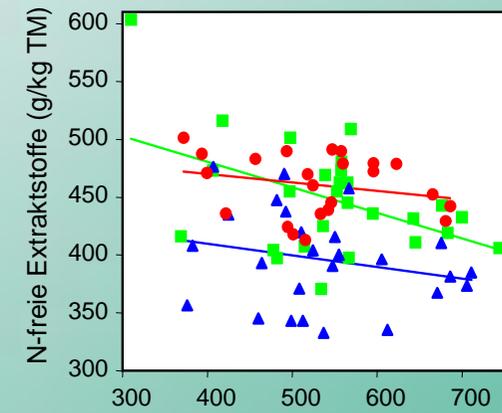
NDF-unlösliches Protein



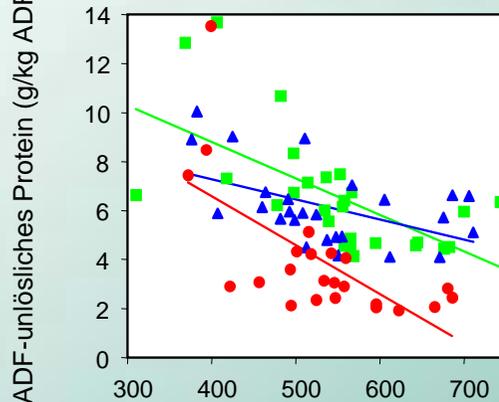
Rohfaser



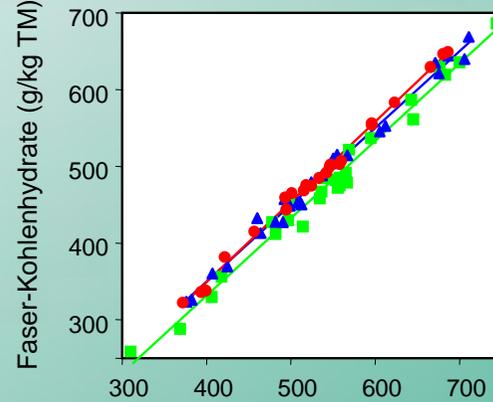
N-freie Extraktstoffe



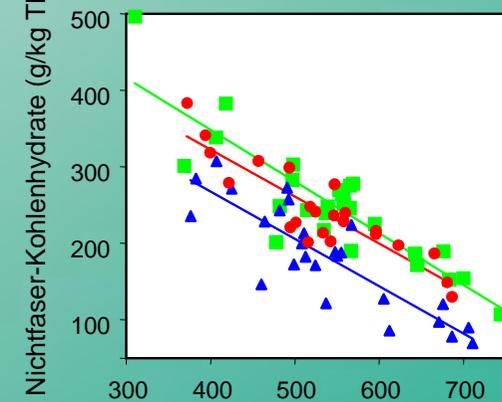
ADF-unlösliches Protein



Faser-Kohlenhydrate



Nichtfaser-Kohlenhydrate



■ Grünfutter

▲ Silage

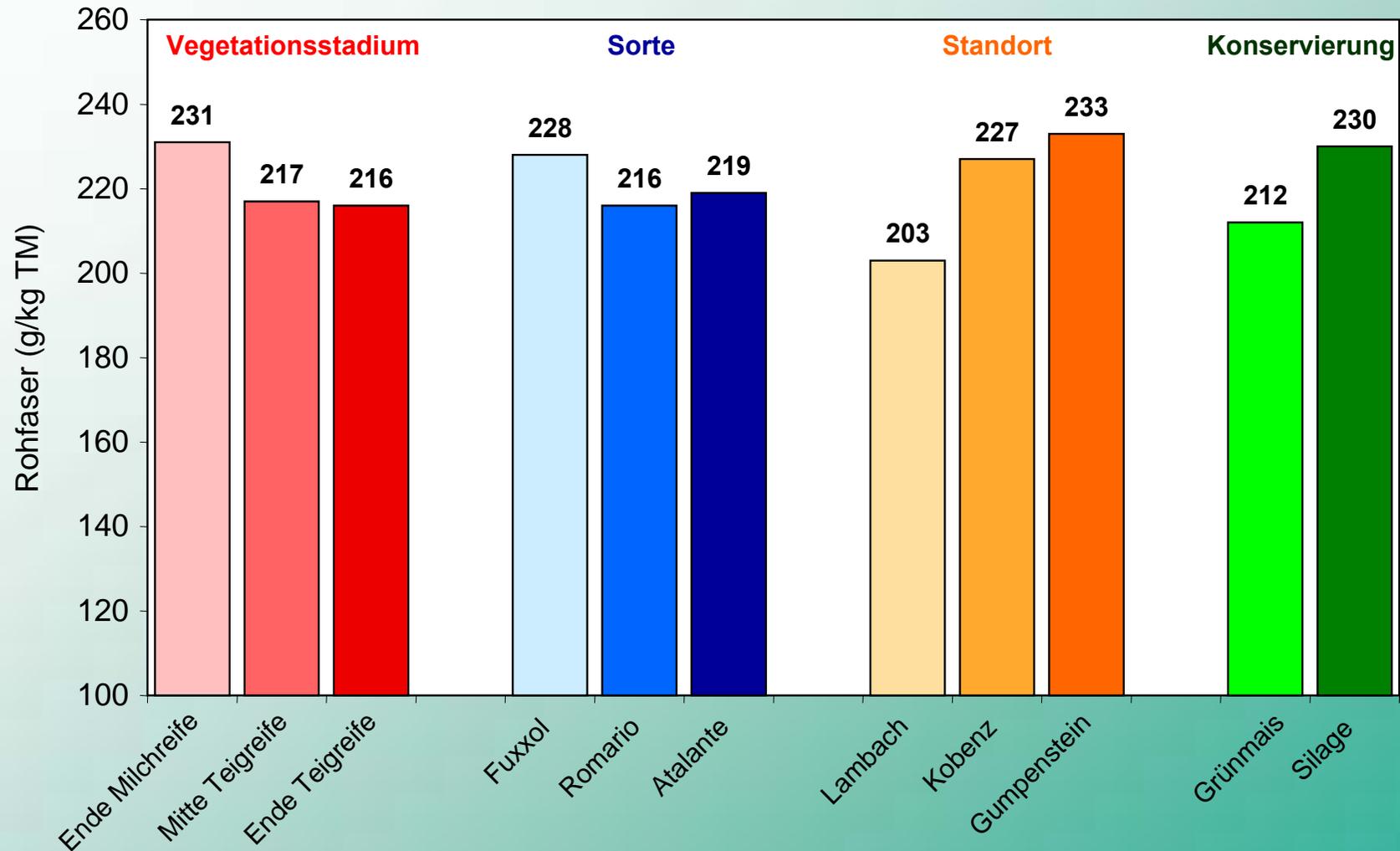
● Heu



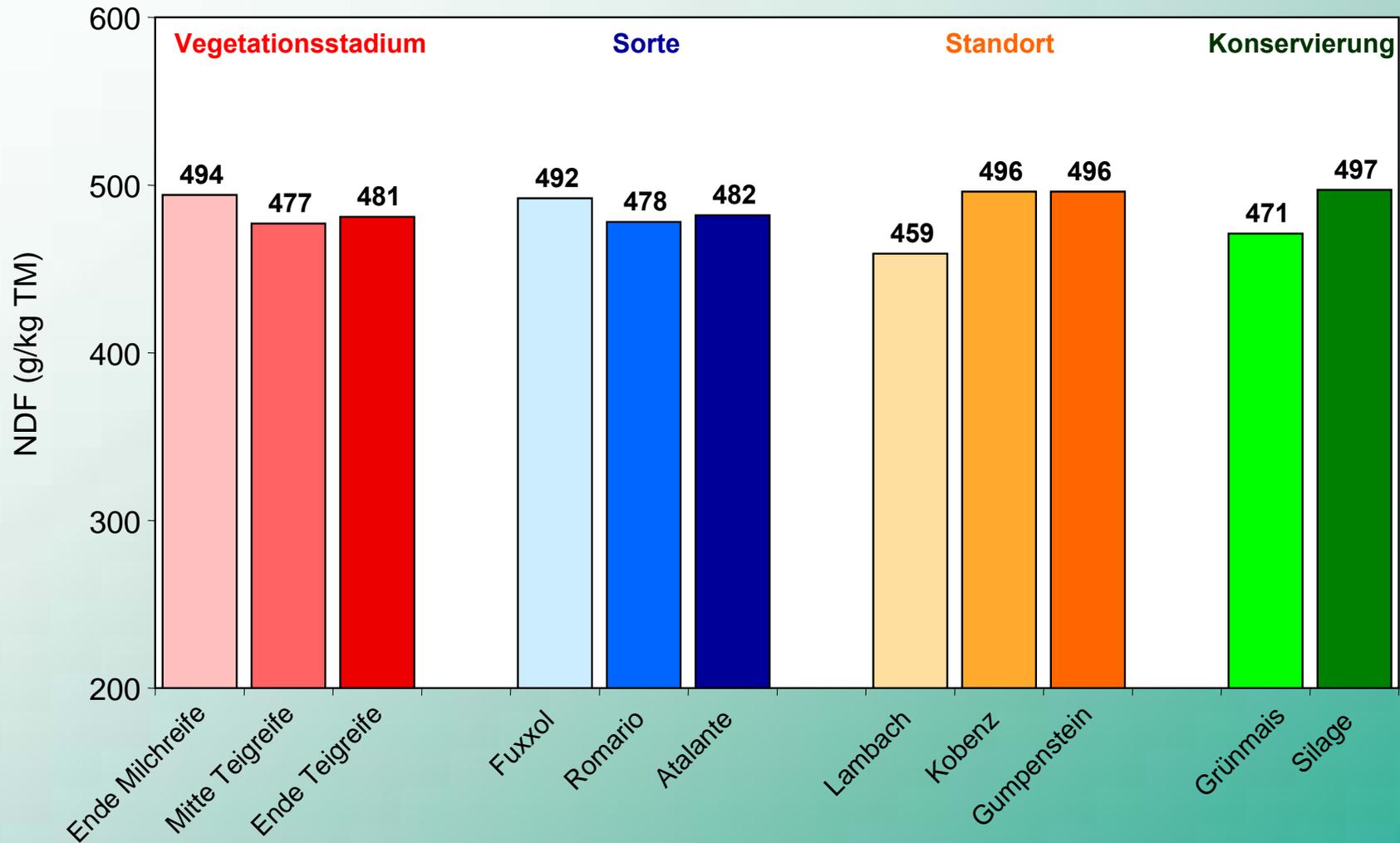
**1.b**

**Silomais**

# RFA-Gehalt von Silomais in Abh. von Vegetationsstadium, Sorte, Standort und Konservierung



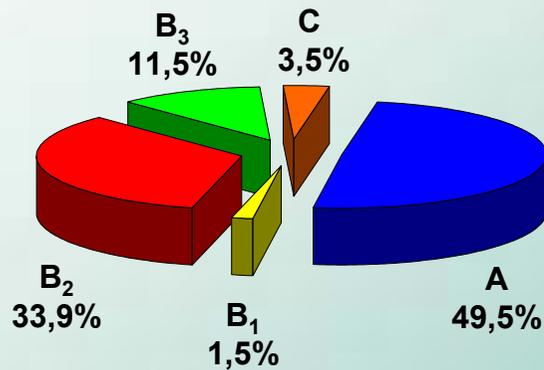
# NDF-Gehalt von Silomais in Abh. von Vegetationsstadium, Sorte, Standort und Konservierung



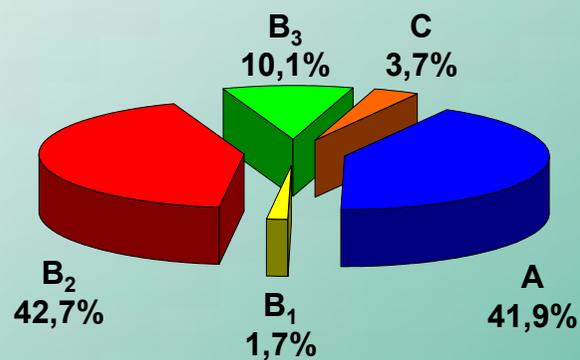
# Protein-Fractionen des CNCPS von Silomais in Abhängigkeit vom Vegetationsstadium

(% des RP)

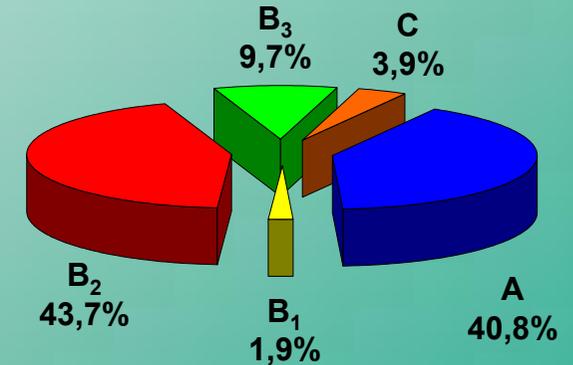
Ende Milchreife



Mitte Teigreife



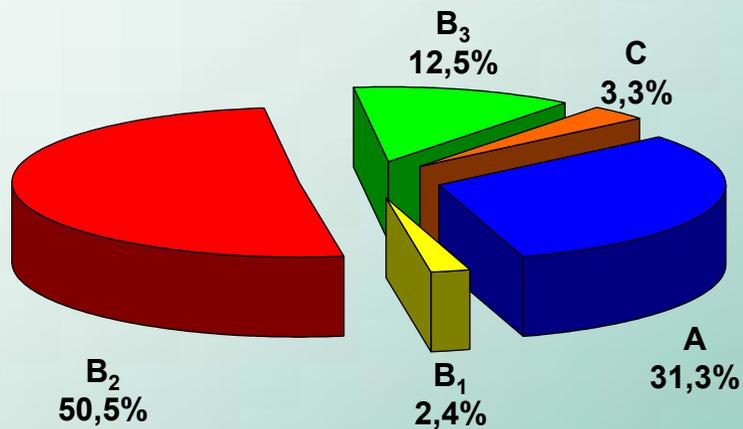
Ende Teigreife



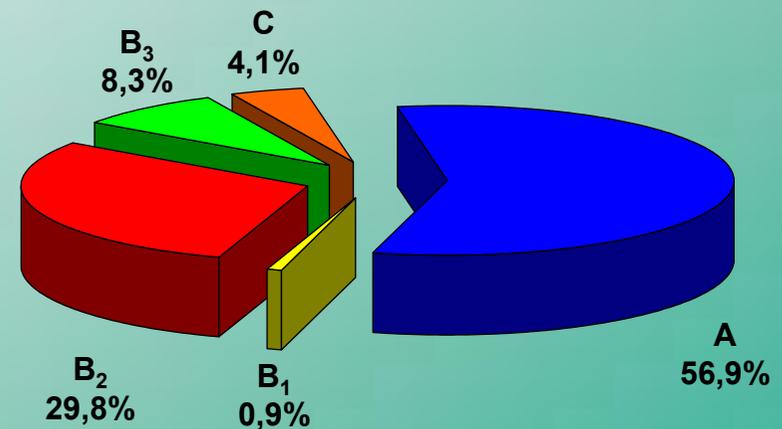
# Protein-Fractionen des CNCPS von Silomais in Abhängigkeit von der Konservierung

(% des RP)

Grünmais



Silage

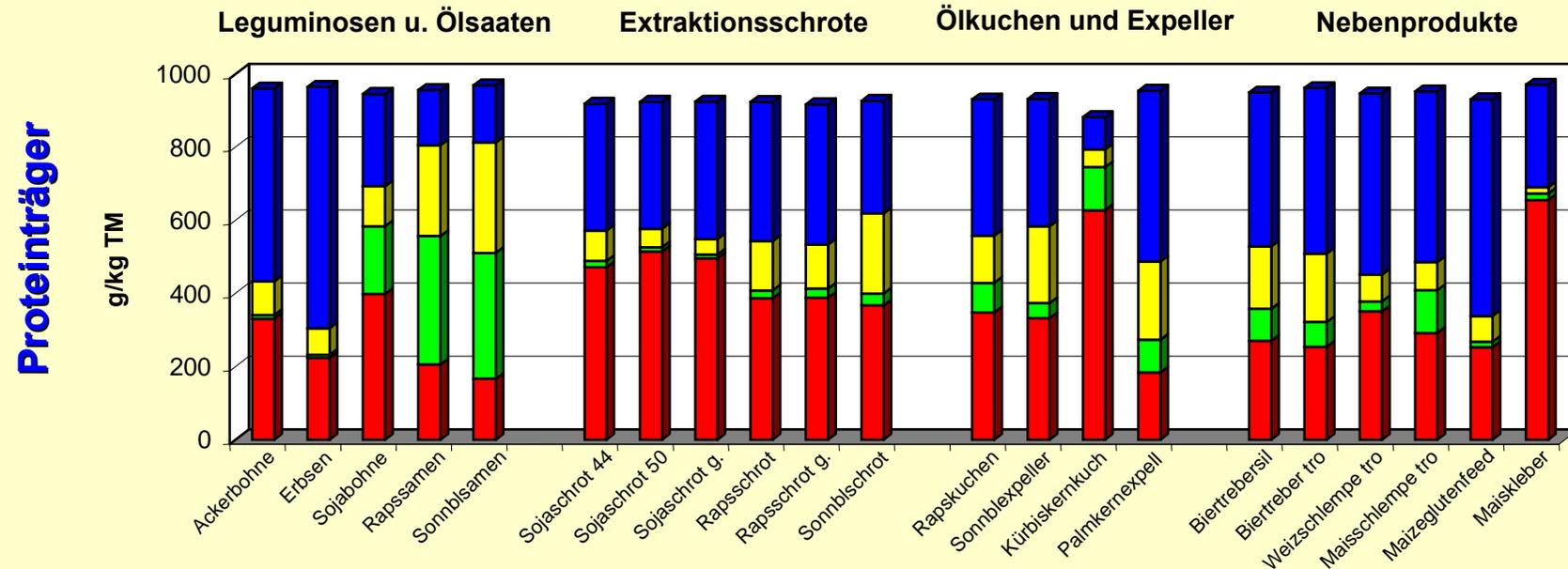
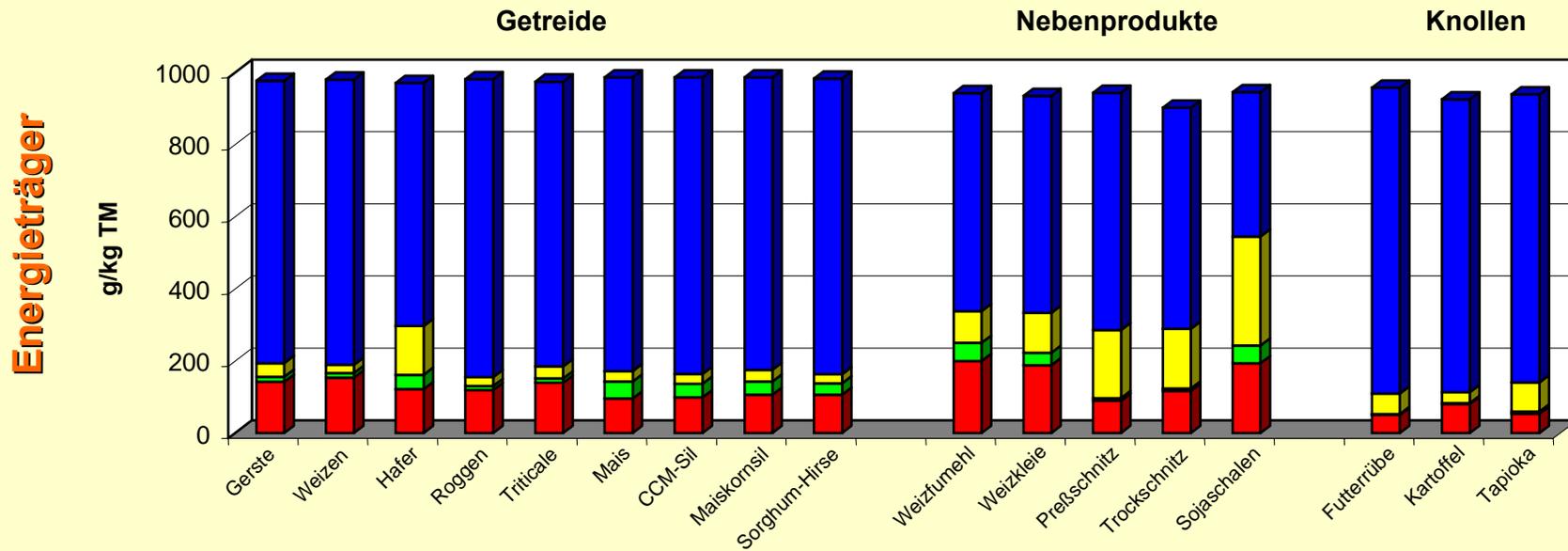




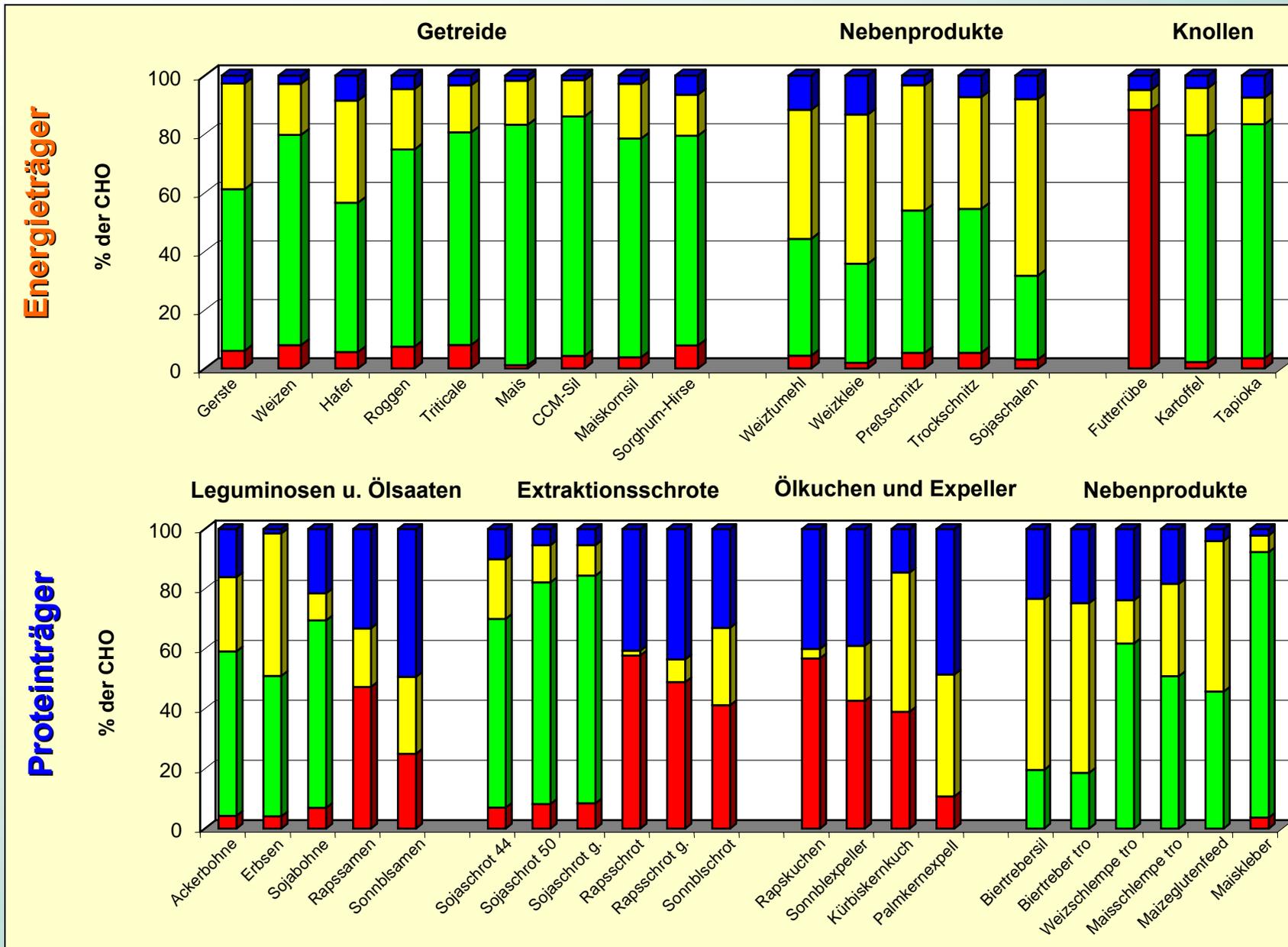
**1.c**

**Kraftfutter**

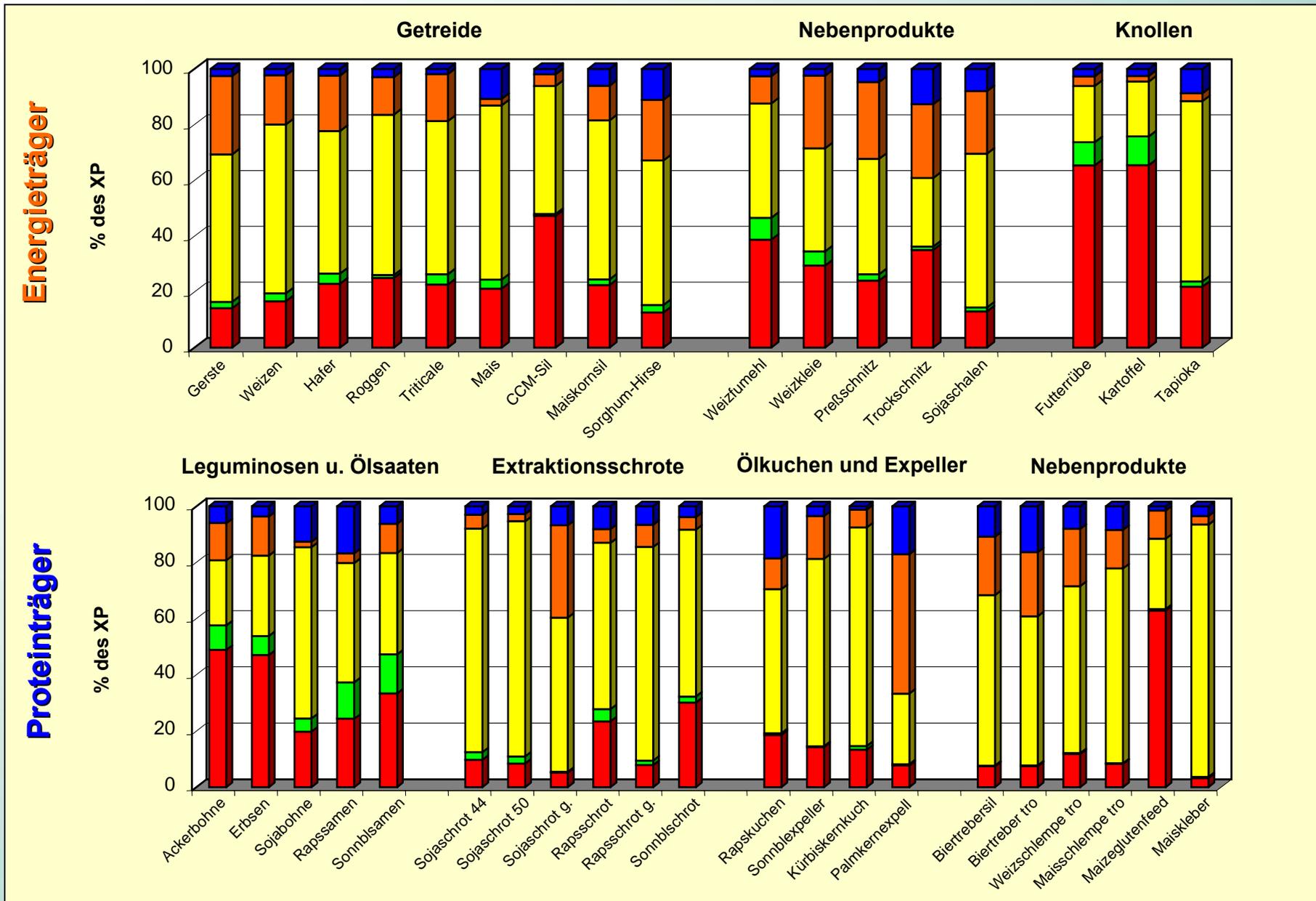
# Weender Nährstoffe (XP, XL, XF, XX) abs.



# Kohlenhydrat-Fraktionen (A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C) rel.



# Protein-Fractionen (A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, C) rel.





**2.**

**in situ-Technik**

# Beschreibung der in situ-Methodik I

## **Methode:**

Orskov et al. 1980, Michalet-Doreau et al. 1987,  
Madsen & Hvelplund 1994, Huntington & Givens 1995,  
NRC 2001, Südekum 2005

## **Nylon bags:**

Ankom (USA), Maschenweite 53  $\mu$ , 20 x 10 cm (für Grobfutter),  
6 g Einwaage (15 mg/cm<sup>2</sup>), 2 mm Sieb

## **Fistulierte Tiere:**

4 Ochsen (1.200 kg LM), Bar Diamond-Fisteln (USA)

# Beschreibung der in situ-Methodik II

## **Ration:**

Erhaltungsniveau

75 % GF ( $\frac{1}{3}$  Heu,  $\frac{1}{3}$  Grassilage,  $\frac{1}{3}$  Maissilage)

25 % KF (Getreide, Trockenschnitzel, Sojaschrot, Mineralstoffe)

## **9 Inkubationszeiten:**

0, 3, 6, 10, 14, 24, 34, 72, 168

## **Auswertung:**

Orskov & McDonald (1979):

$$\text{deg} = a + b \times (1 - \exp(-c \times (t - \text{lag})))$$

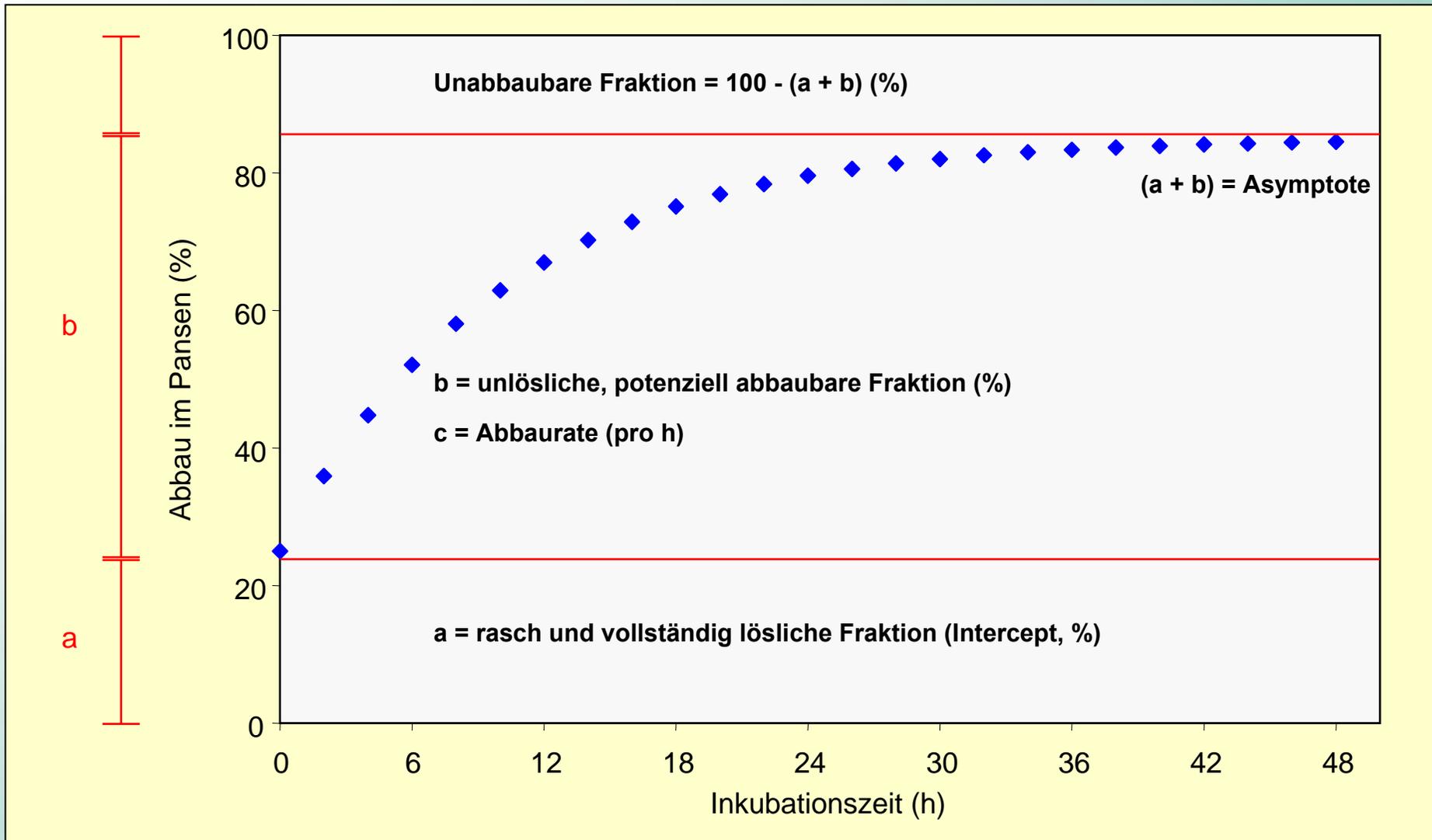
McDonald (1981):

$$\text{ED}_{k_p} = a + ((b \times c) / (k_p + c)) \times \exp(-k_p \times \text{lag})$$

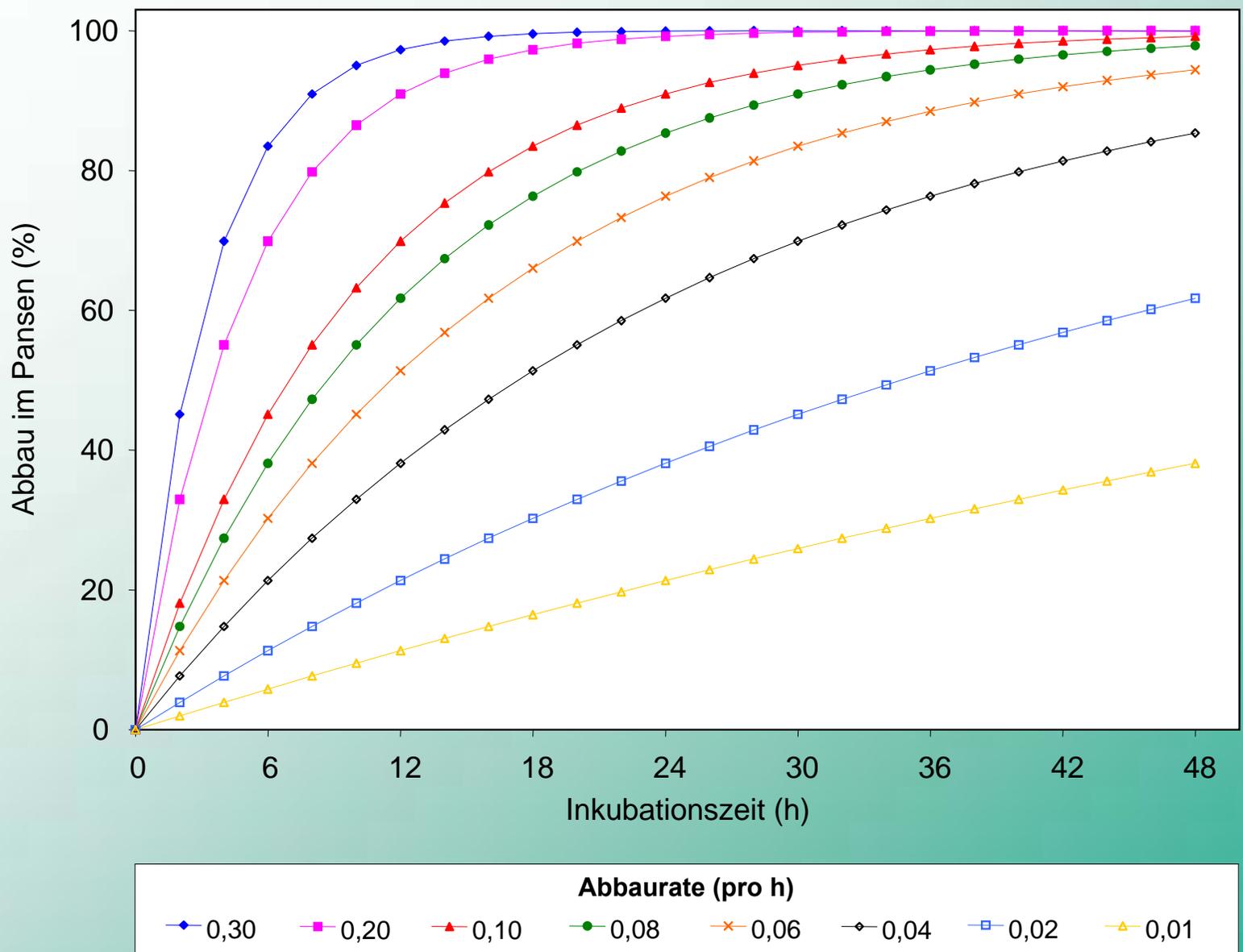
# Beschreibung der Abbaubarkeit eines Futtermittels im Pansen

$$\text{deg} = a + b * (1 - \exp(-c * \text{Zeit}))$$

(Orskov & McDonald 1979)



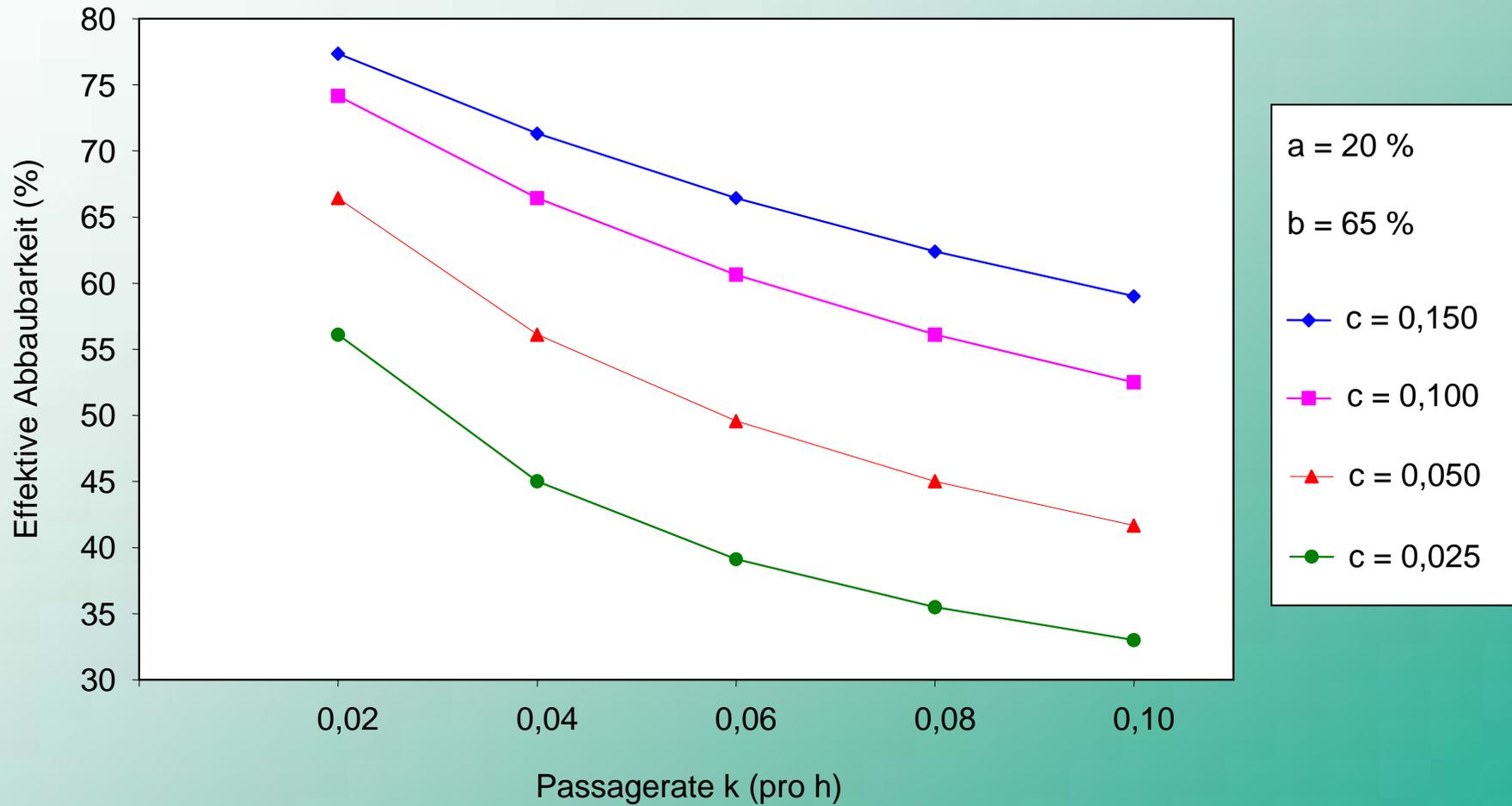
# Einfluss der Abbaurrate (c) auf den Nährstoffabbau im Pansen



# Errechnung der effektiven Abbaubarkeit eines Futtermittels

$$ED = a + \frac{(b * c)}{(c + k)}$$

(Orskov & McDonald 1979)

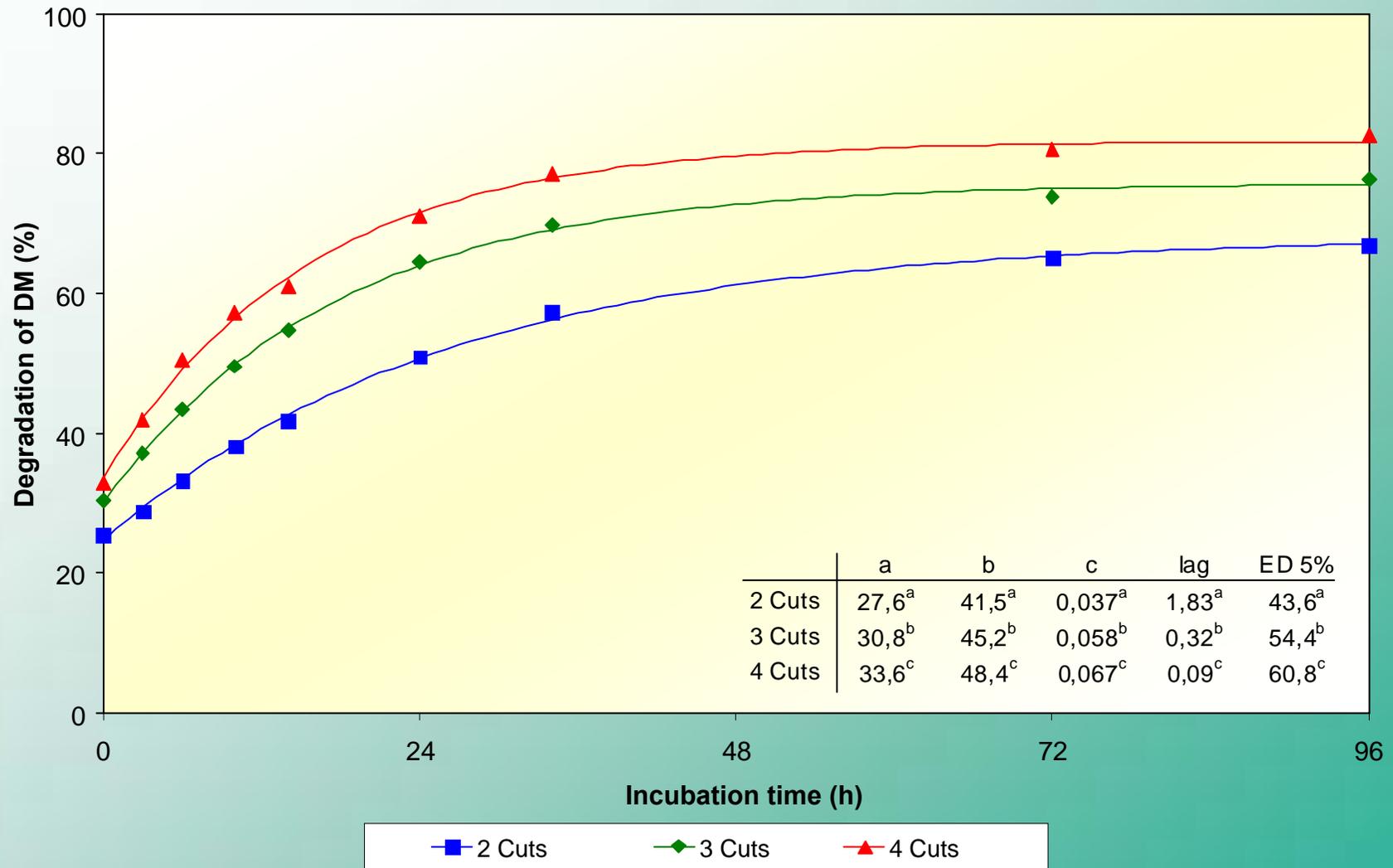




**2.a**

**Wiesenfutter**

# in situ-Abbau der TM von Wiesenfutter unterschiedlicher Schnitthäufigkeit

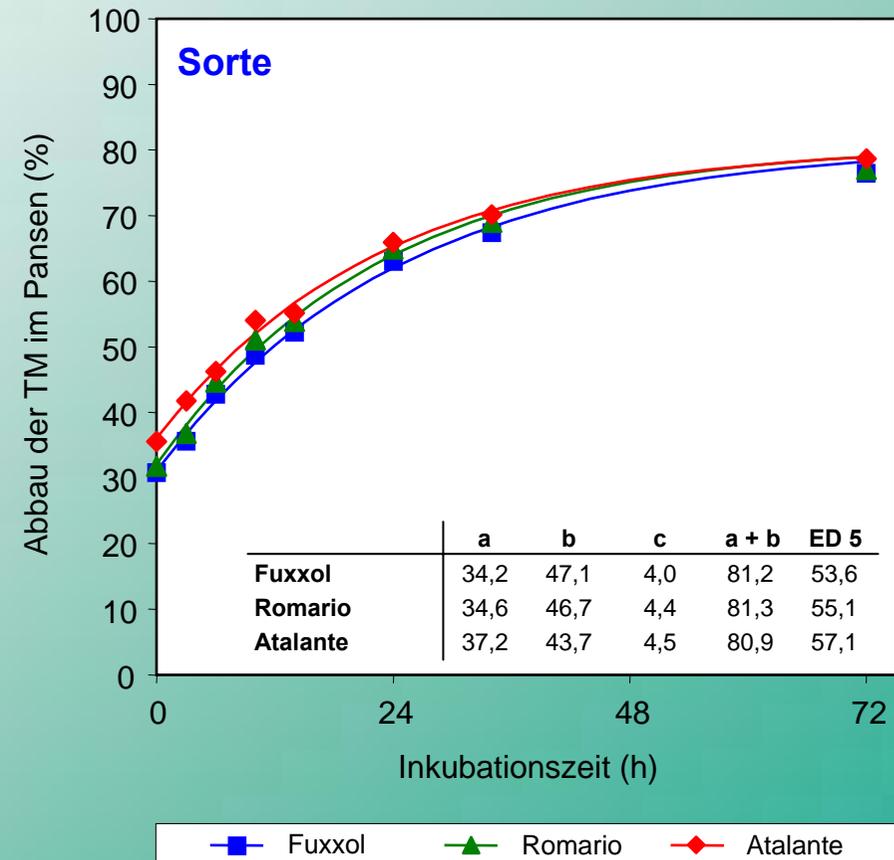
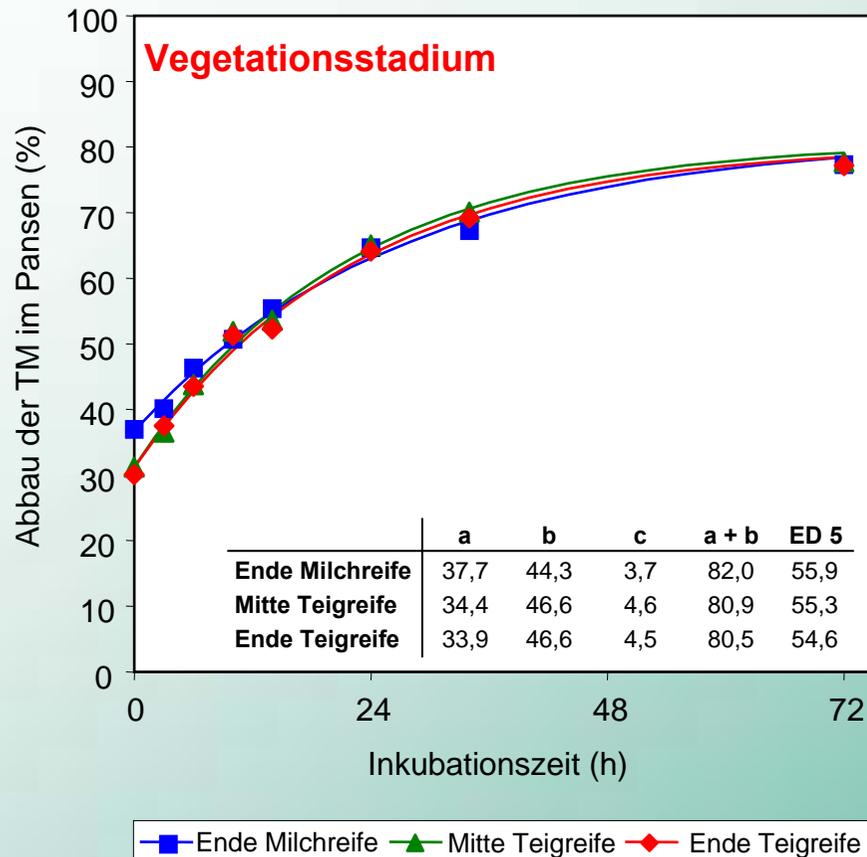




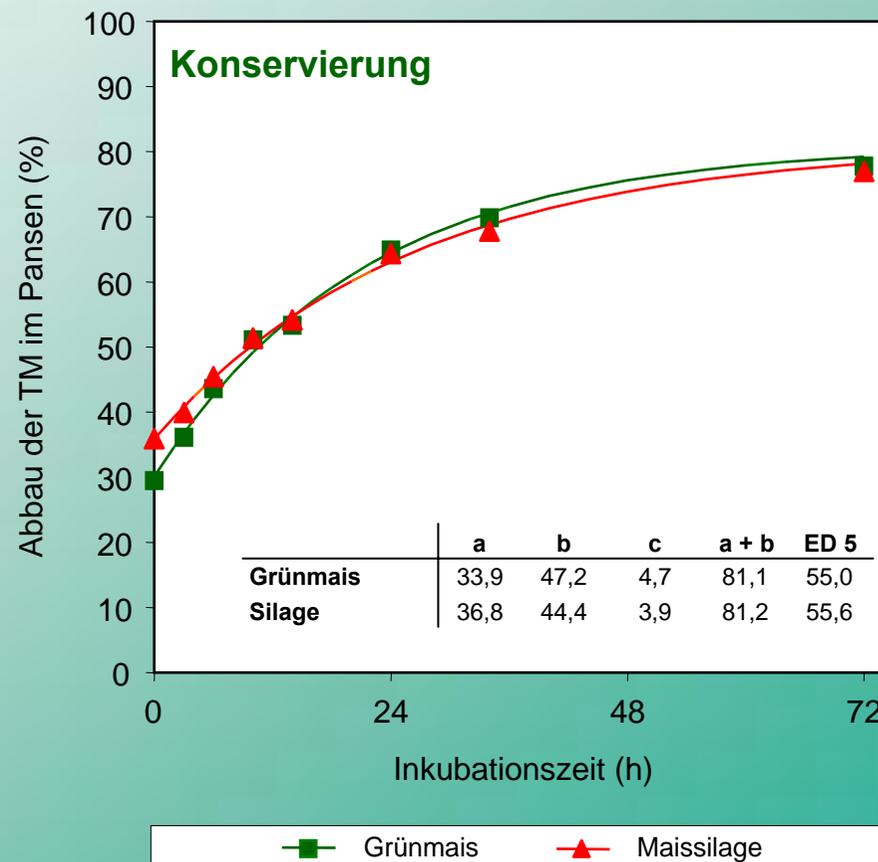
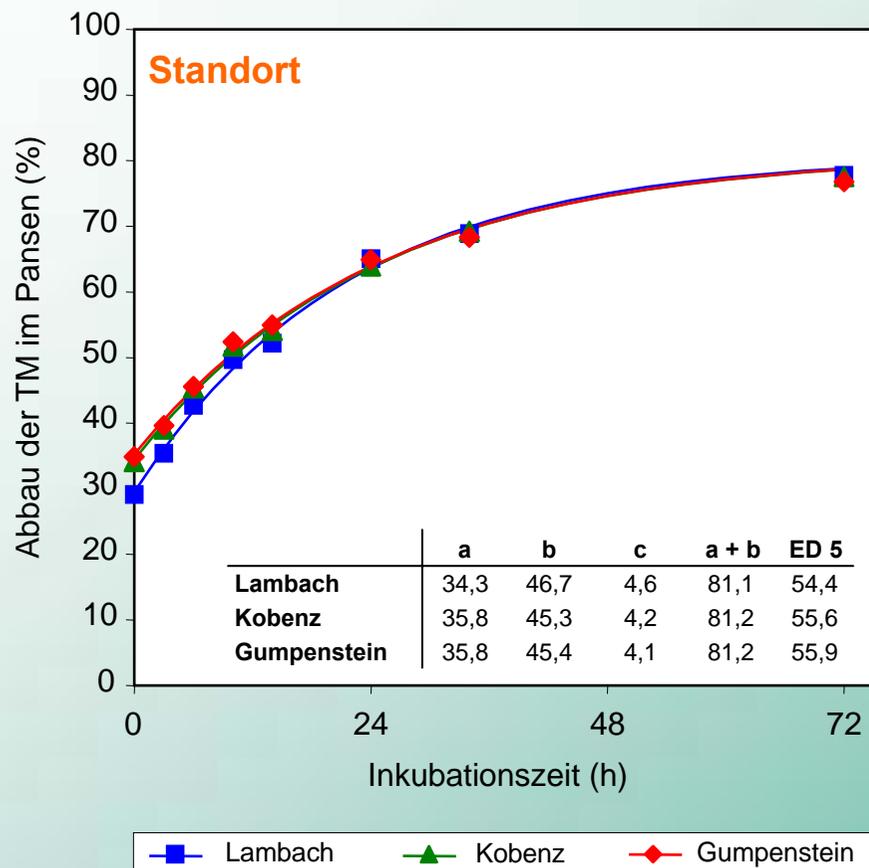
**2.b**

**Silomais**

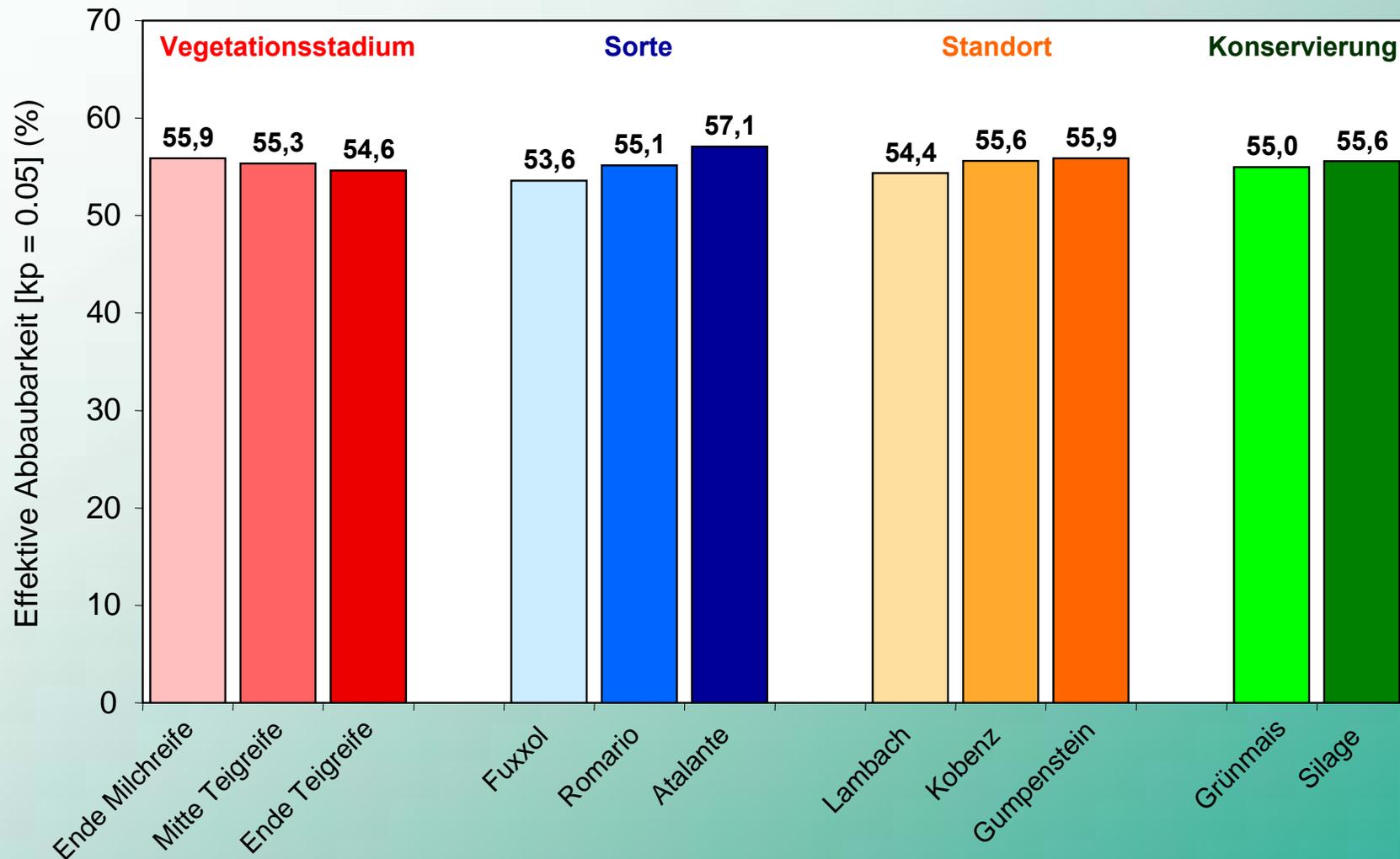
# Abbau der TM von Silomais im Pansen in Abhängigkeit von Vegetationsstadium und Sorte



# Abbau der TM von Silomais im Pansen in Abhängigkeit von Standort und Konservierung



# Effektive Abbaubarkeit „ED p=0.05“ in Abh. von Veg.stadium, Sorte, Standort und Konservierung

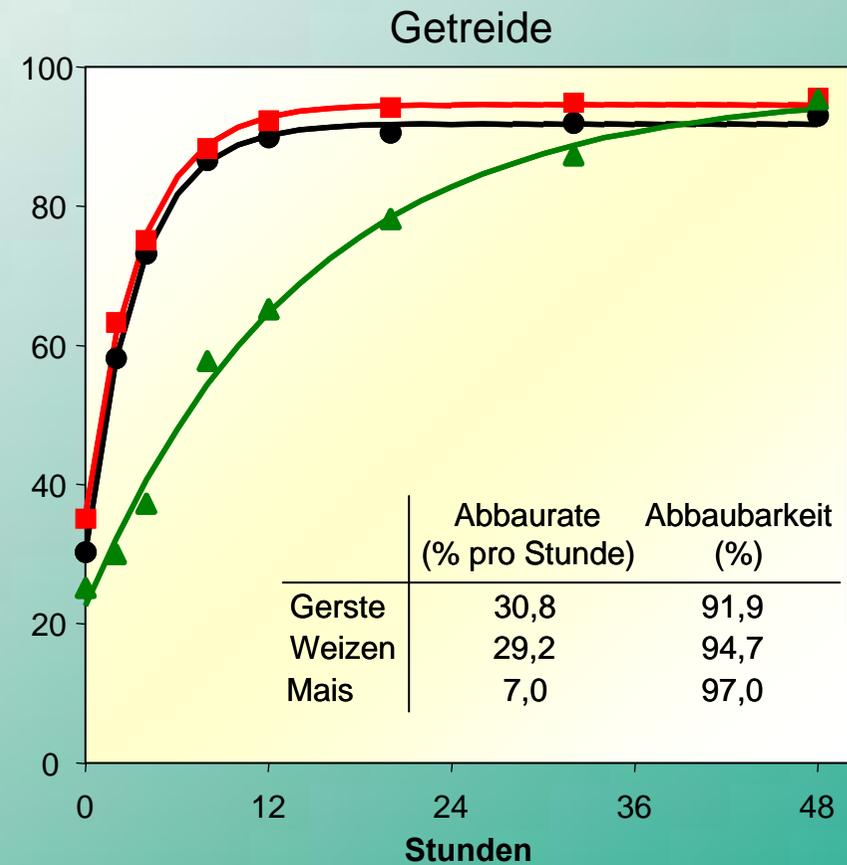
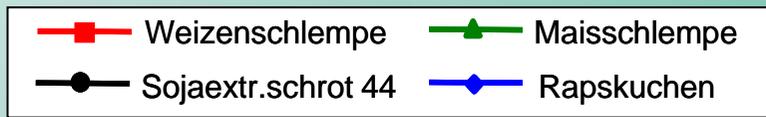
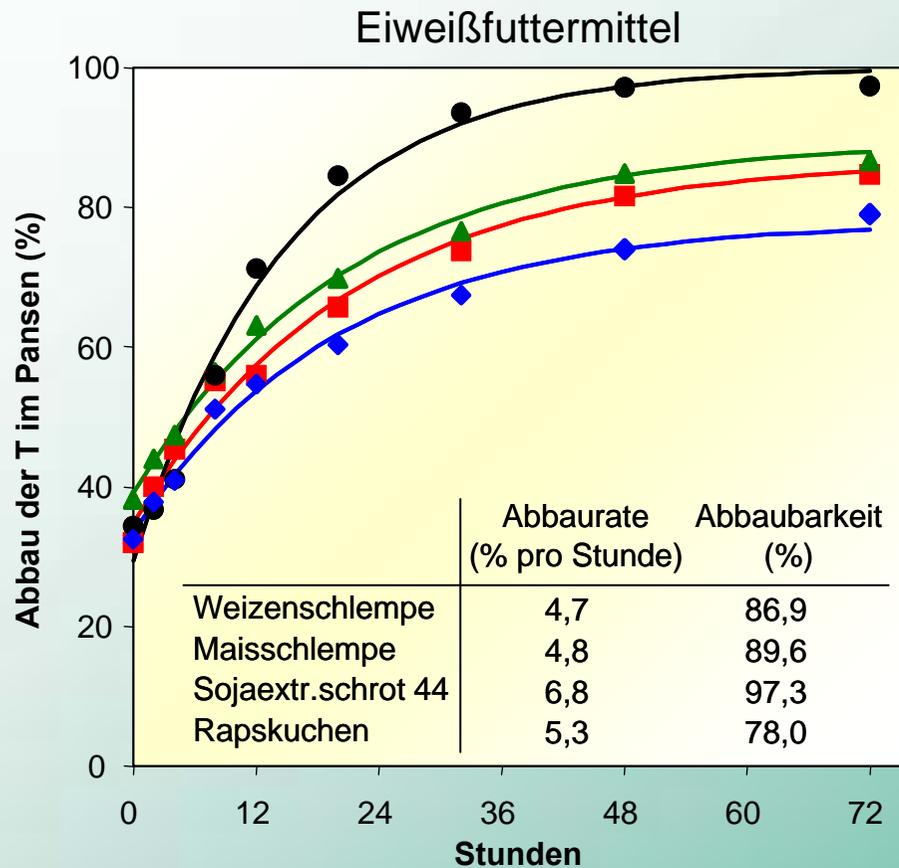




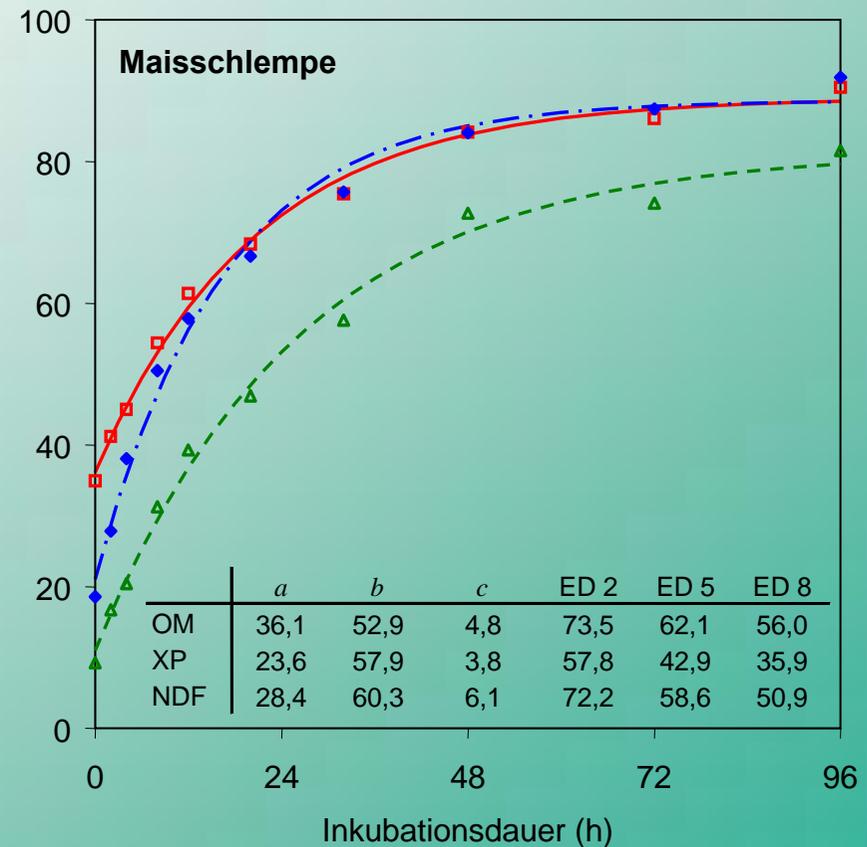
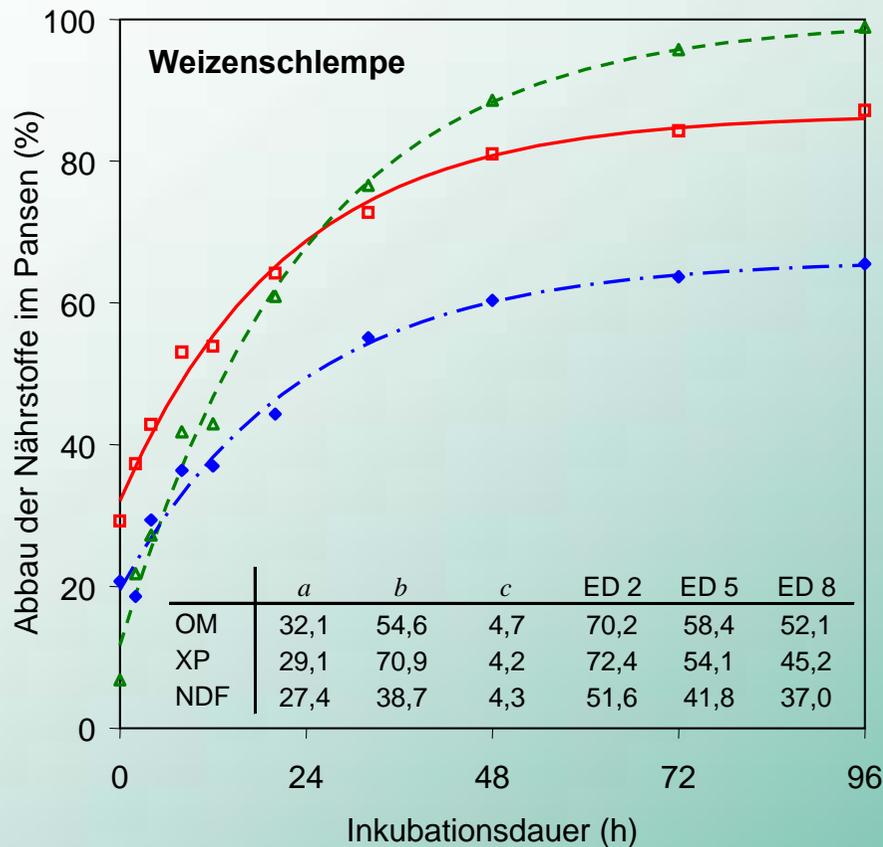
**2.c**

**Kraftfutter**

# in situ-Abbau der TM von Eiweißfuttermitteln und Getreide



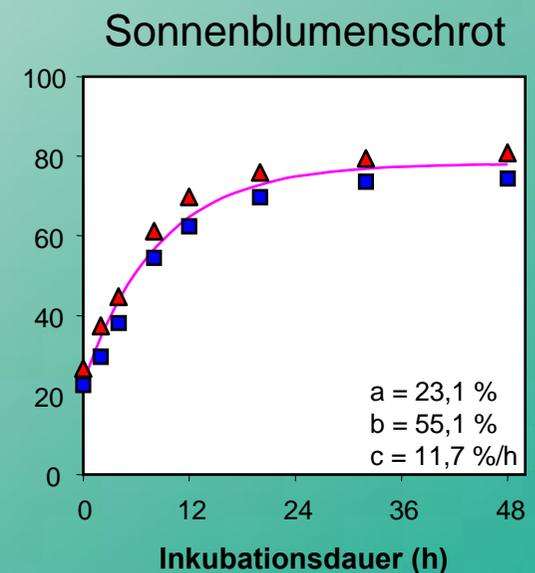
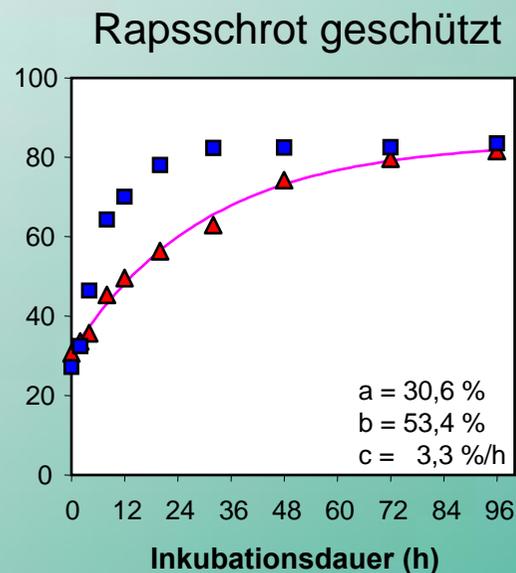
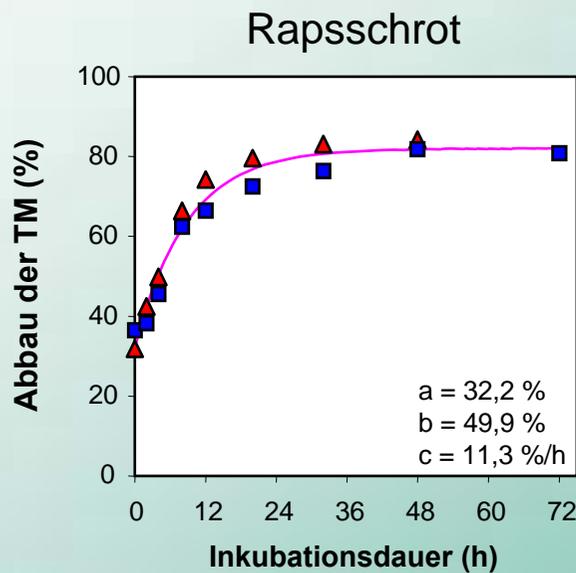
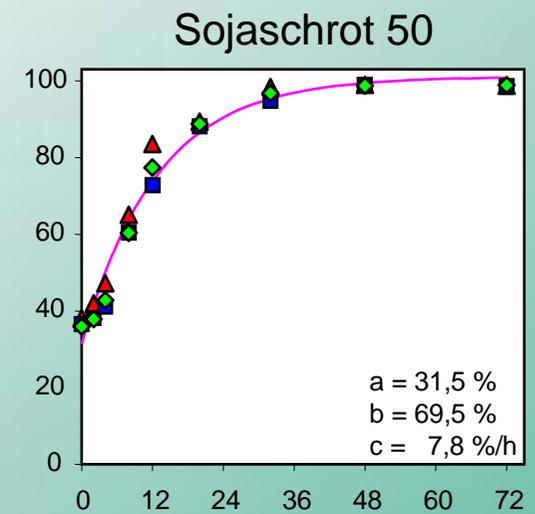
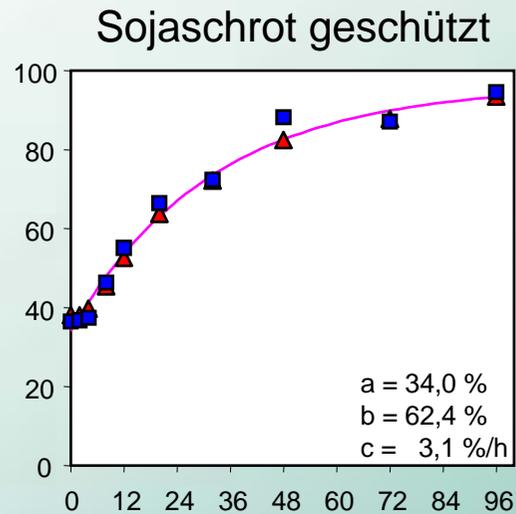
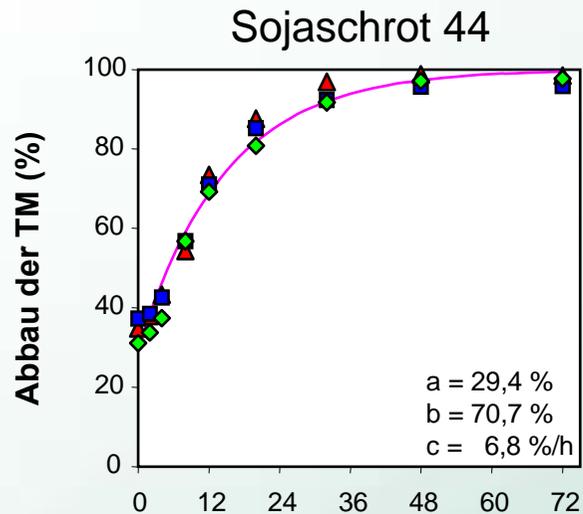
# Vergleich des Abbaues verschiedener Nährstoffe



(GRUBER et al. 2006)

—■— OM —▲— XP —◆— NDF

# Ruminale Abbaubarkeit verschiedener Kraftfutter



▲ 1    ■ 2    ◆ 3    — Modell

# Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

- **Große Unterschiede zwischen Futtermitteln und Futtermittelgruppen**
  - Proteingehalt
  - Fettgehalt
  - Gehalt und Zusammensetzung der Kohlenhydrate
- **Cornell-System erlaubt tieferen Einblick in Verdauungsvorgänge des Pansens**
- **Gute Übereinstimmung zwischen Cornell-System und in situ-Nährstoffabbau**
- **Beide Methoden (in situ, CNCPS) sind wichtige Grundlage für Synchronisation der Nährstoffe im Pansen (XP, CHO)**