



# Aktuelle Aspekte zur Phosphorversorgung von Milchkühen

Prof. Dr. Markus Rodehutscord  
Institut für Tierernährung



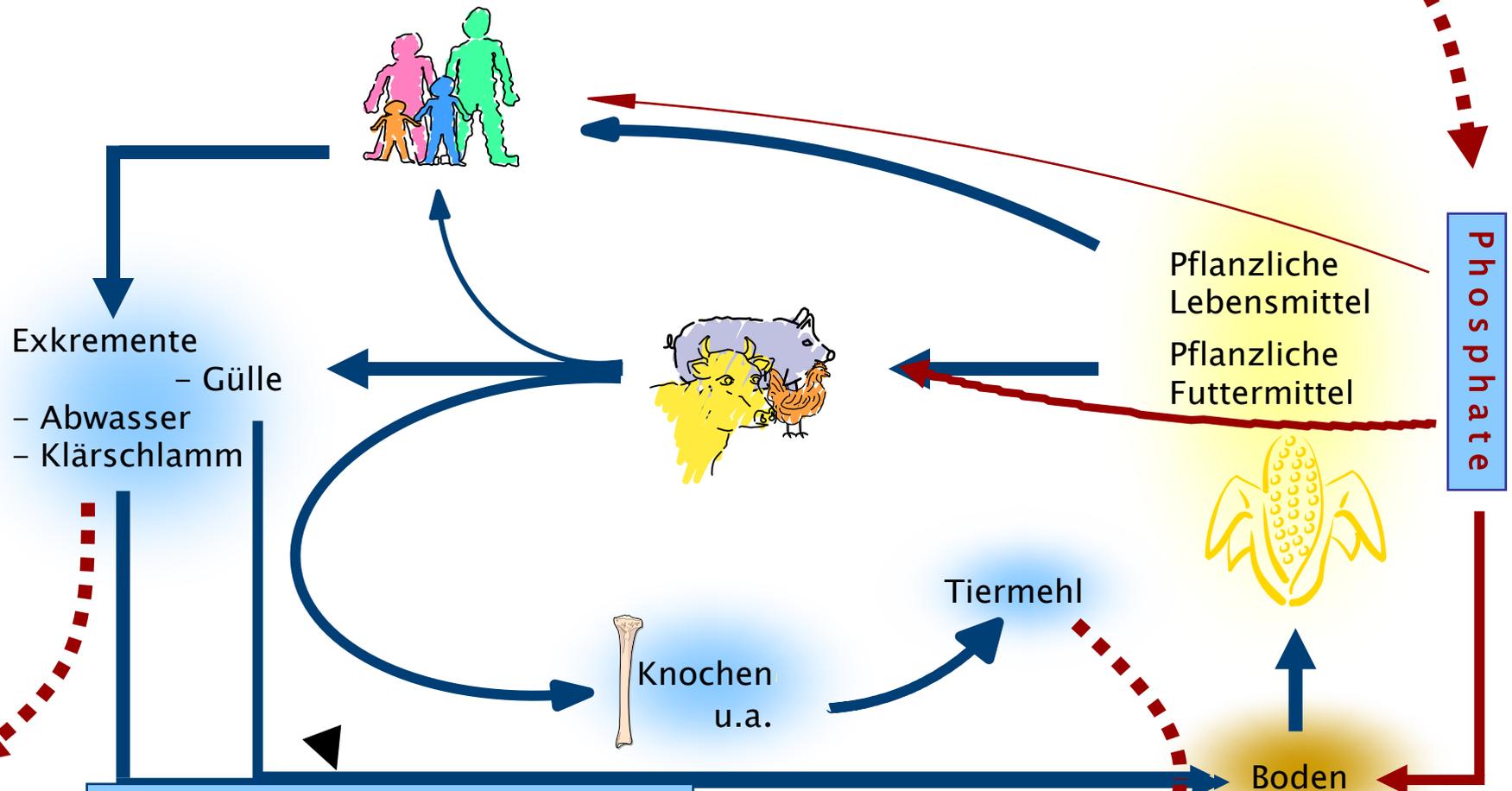
# Phosphor im Körper von Tieren

- Gehalt in der Körpermasse: **4–7 g/kg**,  
davon ca. 80% im Skelett
- Wesentliche physiologische Funktionen
  - Knochenmineralisierung, –stabilität
  - Bestandteil von Nukleinsäuren
  - Energieübertragung (ATP, Kreatinphosphat)
  - Phospholipide in Biomembranen
  - Puffersysteme
- Zusätzlich Gehalte in von Tieren gebildeten Produkten,  
(hier: Milch)

# Inhalt des Vortrags

- Rahmenbedingungen
- Phosphorkreislauf
- Rinder
  - Nährstoffbilanzen
  - Versorgungsempfehlungen
  - Gehalte in Futtermitteln
  - Ergebnisse aus Fütterungsversuchen
  - P-Verwertbarkeit
  - Ca:P-Verhältnis
  - Blutwerte
- Schlussfolgerungen

# Schema zum P-Fluss



Quantifizierung der Ströme?  
Bedeutung des Tieres?

# Überblick

## ■ Rahmen:

- Globale Lagerstätten für Rohphosphate sind begrenzt
- Europa ist auf Importe angewiesen
- Die Preise für mineralische P-Quellen sind sehr stark gestiegen
- Anreicherung im Boden und Eintrag in Oberflächengewässer sind zu vermeiden

## ■ Aktivitäten der Tierernährung:

- Neue Versorgungsempfehlungen und Fortschritte in der bedarfsangepassten Fütterung in den 1990-er Jahren
- Einsatzmöglichkeiten für Phytasen bei Nichtwiederkäuern
- Ausgleich von Betriebsbilanzen möglich

## ■ Notwendigkeiten:

- Potenziale bei den Reduzierungsmöglichkeiten in der Fütterung nutzen
- Effizienzen auch in größeren Zusammenhängen betrachten

# Tiermehl und P-Versorgung

Schätzungen für Deutschland  
(AG Futtermittelressourcen der GfE, 2002)

|                                                   | Tonnen je Jahr |
|---------------------------------------------------|----------------|
| ▶ Benötigte P-Ergänzung für Schweine und Geflügel | 26.500         |
| ▶ P-Menge in Tiermehl                             | 15.500         |

# Potenzial der Fäkalien

DGE-Empfehlung zur  
P-Aufnahme (>15 Jahre)

0,70 – 1,25 g/d

Mittlere P Zufuhr  
(>15 Jahre) (DGE, 2004)

1,5 g/d

55 Menschen

Bedarfsdeckende P-Versorgung

1 ha ertragreiches  
Ackerland

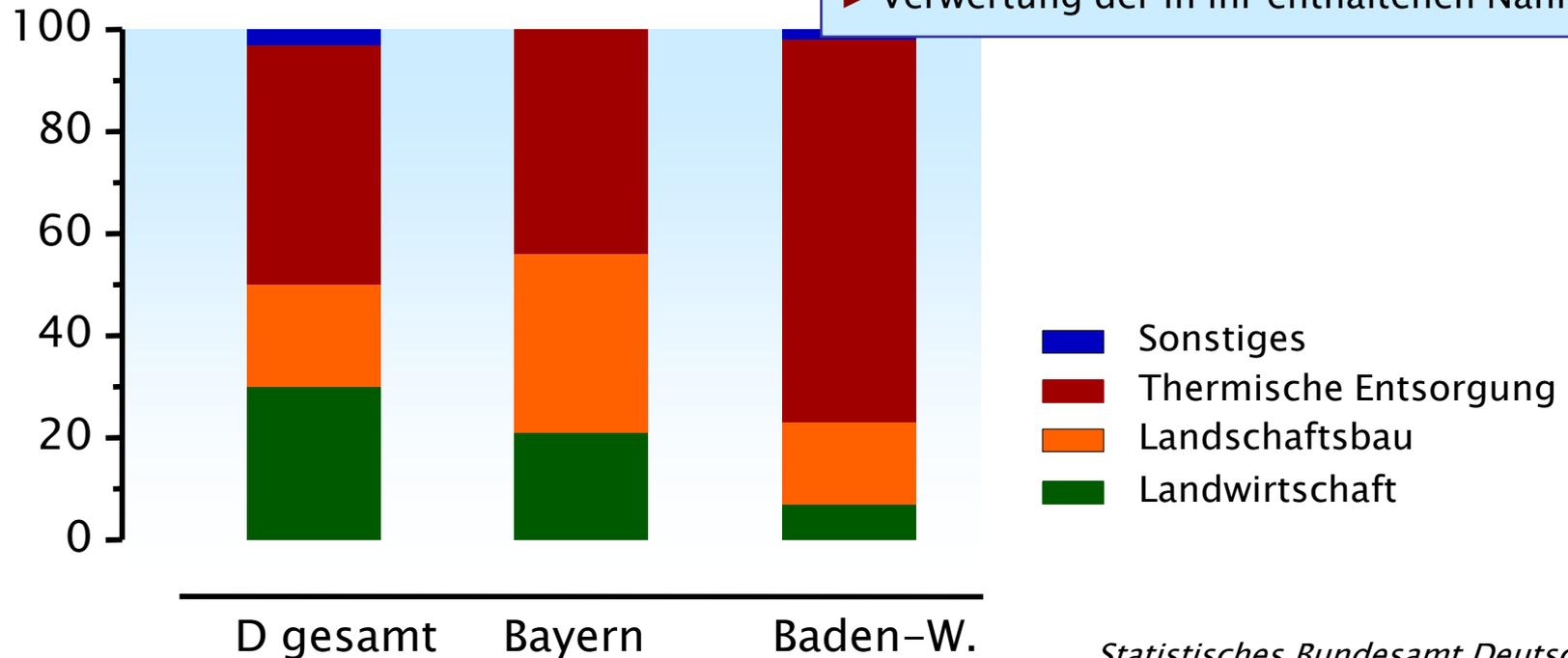
82 Mio. Menschen in DE: 1,5 Mio. ha, ~ 13 % des Ackerlandes

35 % der in D gedüngten P-Menge  
(~120.000 t/y)

# Klärschlammverwendung

► Aufkommen in Deutschland in 2009: 1,96 Mio t Trockenmasse

Aufteilung der Verwendung (%)



Statistisches Bundesamt Deutschland  
<http://www.destatis.de>

# Herausforderungen

- Einbeziehung der Fäkalien aus dem urbanen Raum in die Kreisläufe
  - Umgang mit Klärschlämmen
  - Rückgewinnung von Phosphaten aus Abwasser bzw. aus Verbrennungsrückständen
  - Globale Perspektive?
- Verwendung der Schlachtnebenprodukte
- Ansatzmöglichkeiten zur weiteren Effizienzsteigerung durch Ernährung und Züchtung von Nutztieren und -pflanzen nutzen

# Rolle der Tierproduktion, insbesondere Tierernährung



# Nährstoffbilanzen: Verschiedene Betrachtungsebenen

## ■ Einzeltier: P-Verwertung

- Ist eine Minimierung der Ausscheidungen in jedem Fall nötig?
  - Kosten (Futterphosphate, Phytase, Proteinträger)
  - Nährstoffkreislauf

## ■ Landwirtschaftlicher Betrieb

- Betriebsbilanzen, Düngeverordnung, Tierproduktion in Relation zur Nutzfläche
  - Verwendungsmöglichkeiten für Gülle
  - Kosten für Phosphatdünger

## ■ Region

- Interaktion zwischen Betrieben
- Schnittstellen mit anderen Akteuren des P-Kreislaufes

- Falls die Gülle innerhalb des Betriebes verwendet wird, kann an P bei Einhaltung einer ausgeglichenen P-Bilanz zugekauft werden (Betriebszweig):

- Milcherzeugung: 0,8 bis 1,0 kg P je 1000 L Milch  
1 Schlachtkuh ist ca. 5000 L Milch äquivalent,  
1 Kalb ist ca. 350 L Milch äquivalent
- Bullenmast: 4,0 bis 4,5 kg P je Mastbulle

# „Standardausscheidung“ in DE (kg P je Kuh und Jahr)

|        |  | Futtergrundlage und Weidegang |      |       |      |
|--------|--|-------------------------------|------|-------|------|
|        |  | Grünland                      |      | Acker |      |
| kg FCM |  | Ja                            | Nein | Ja    | Nein |
| 6000   |  | 16,9                          | 16,6 | 15,5  | 15,3 |
| 8000   |  | 18,1                          | 17,8 | 17,4  | 17,2 |
| 10000  |  | 20,4                          | 20,0 | 20,0  | 19,9 |

*nach Spiekers (2009)*

*<http://www.dlg.org/fachinfos-naehrstoffausscheidung.html>*



## ■ Optimale P-Versorgung ermöglichen durch

- Präzise und der Leistungshöhe und -richtung angepasste Versorgungsempfehlungen
- Fundierte Futterbewertung zur Beschreibung der Verwertbarkeit des P aus den verschiedenen Futtermitteln
- **Konsequente Umsetzung in der Fütterungspraxis**

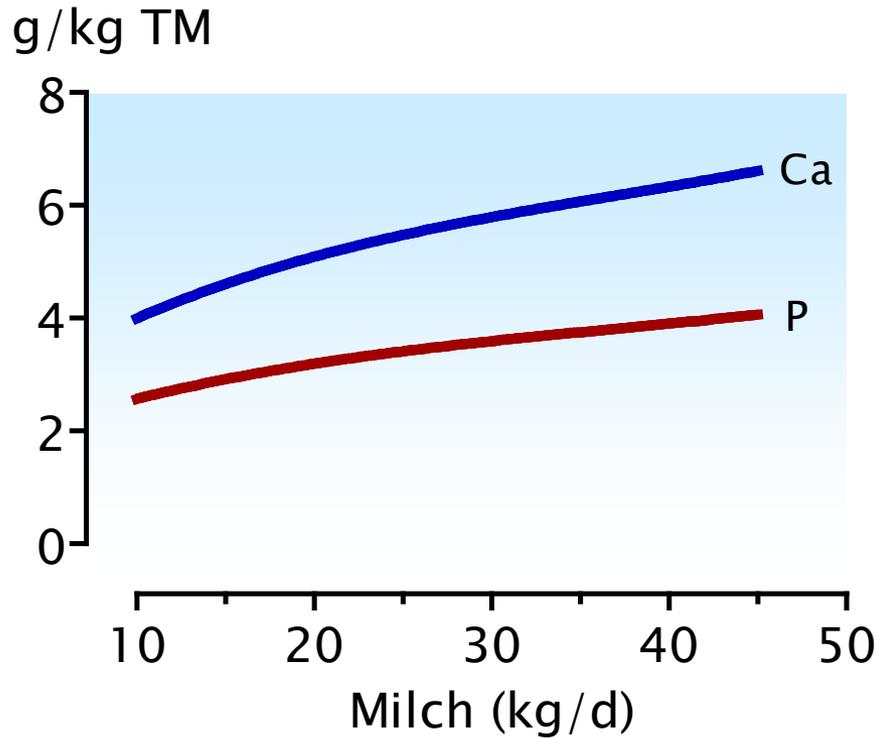
# Rinder (GfE 1993, 1995, 2001)

## ■ Faktoren des P- Bedarfes

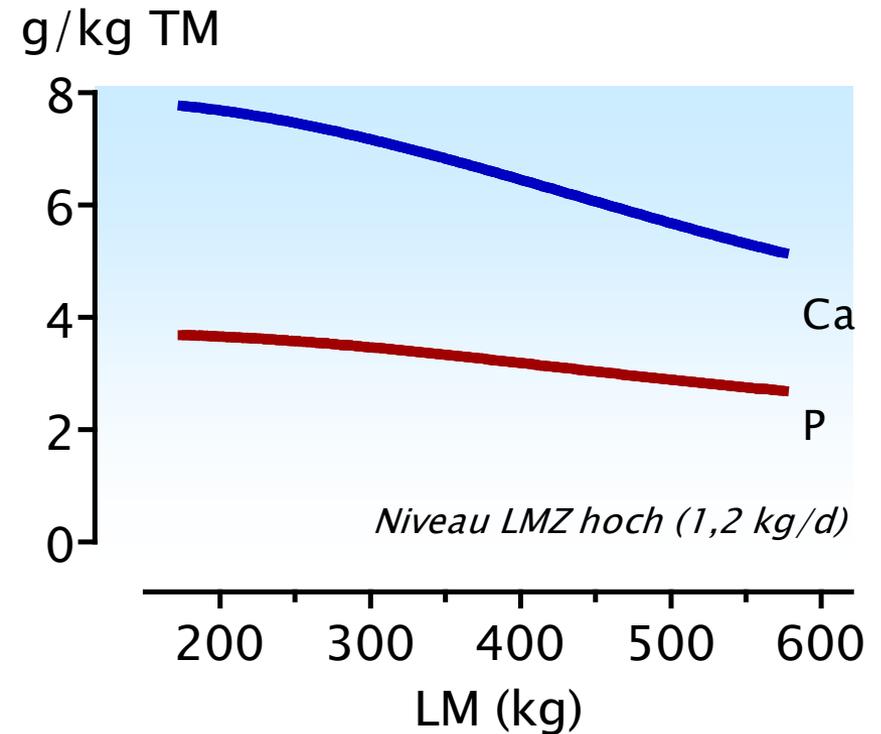
- Unvermeidliche Verluste, abhängig von der Höhe des Futtermittelsverzehrs 1 g/kg TM
- Sekretion mit der Milch 1 g/kg
- Ansatz beim Wachstum 6,6–7,5 g/kg LM-Zuwachs
- Verwertbarkeit 70 %  
keine Differenzierung

# Notwendige Gehalte in Gesamtrationen

Milchkuh

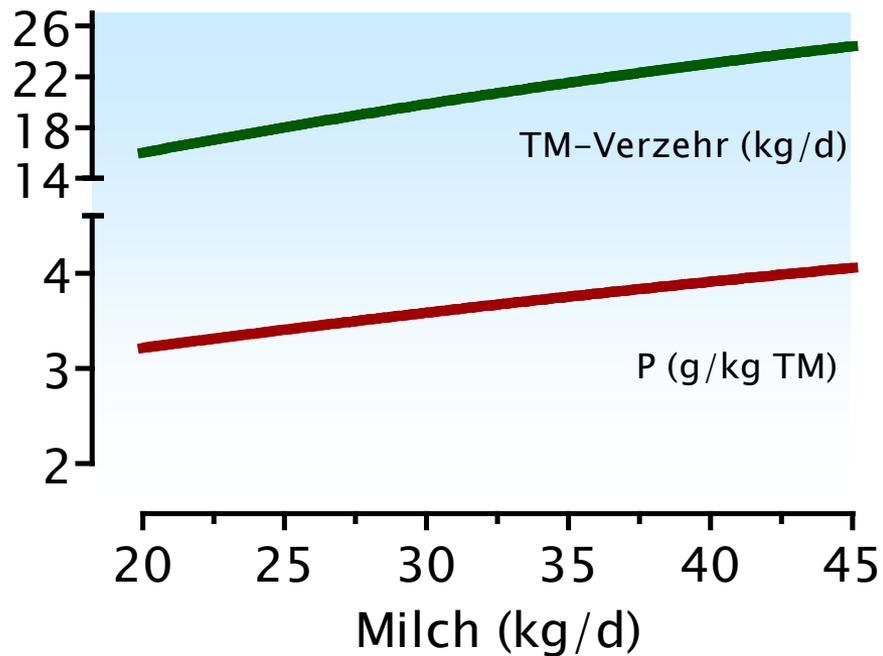


Mastbulle

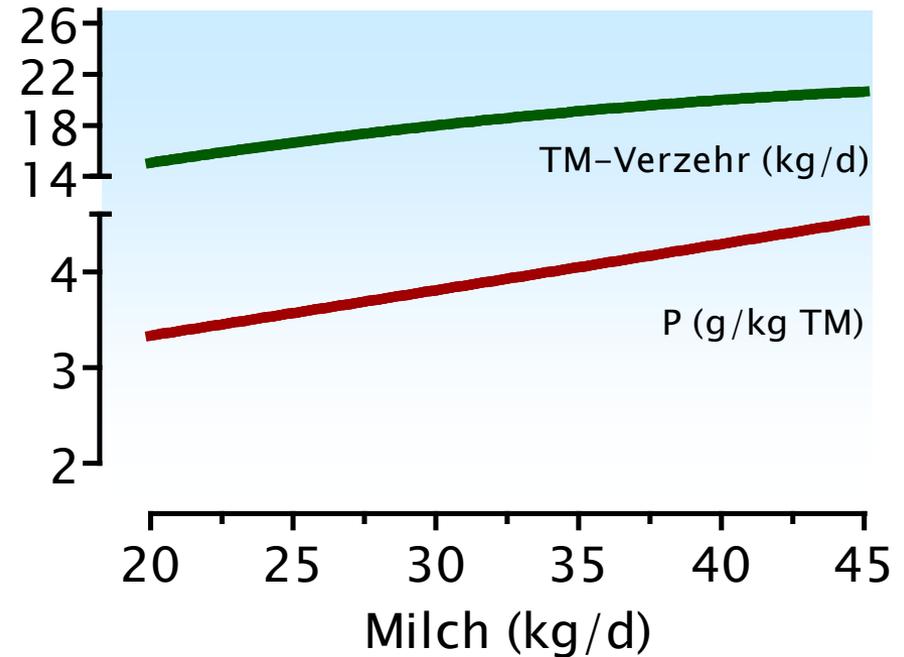


# Kalkulationen zu Milchkurationen

Futtermittelaufnahme  
hoch



Futtermittelaufnahme  
10-15% reduziert



# Aktuelle Versuchsergebnisse aus der LVA Iden

|                                  | Mineralfutter ohne P |      | Mineralfutter mit P |      |
|----------------------------------|----------------------|------|---------------------|------|
|                                  | Mw.                  | SE   | Mw.                 | SE   |
| P- Gehalt (g/kg TM)              | 4,0                  |      | 4,5                 |      |
| TM-Aufnahme, kg/Tag              | 22,1                 | 0,6  | 21,6                | 0,6  |
| Milch, kg/Tag                    | 43,9                 | 1,2  | 42,9                | 1,4  |
| LM-Verlust 1.-13. W., kg         | 58                   | 44   | 51                  | 38   |
| P <sub>i</sub> im Plasma, mmol/L | 1,39 <sup>a</sup>    | 0,04 | 1,68 <sup>b</sup>   | 0,04 |
| P im Kot, g/Tag                  | 6,54 <sup>a</sup>    | 0,30 | 8,43 <sup>b</sup>   | 0,30 |

- Rationen auf Basis von Gras-, Luzerne-, Maissilage, Getreide und Extraktions-schroten
- 7,4 MJ NEL und 163 g nXP je kg TM
- Dauer 25 Wochen
- 38 Tiere je Behandlung

*Engelhard et al. (2011)*

# Aktuelle Versuchsergebnisse aus der LVA Iden

|                     | Mineralfutter ohne P |      | Mineralfutter mit P |      |
|---------------------|----------------------|------|---------------------|------|
| P- Gehalt (g/kg TM) | 4,0                  |      | 4,5                 |      |
|                     | Mw.                  | SE   | Mw.                 | SE   |
| Laktationswoche     |                      |      |                     |      |
| 2                   | 0,47                 | 0,60 | 0,60                | 0,58 |
| 5                   | 0,45                 | 0,17 | 0,55                | 0,40 |
| 8                   | 0,45                 | 0,15 | 0,61*               | 0,47 |
| 13                  | 0,73                 | 0,64 | 0,79                | 0,57 |

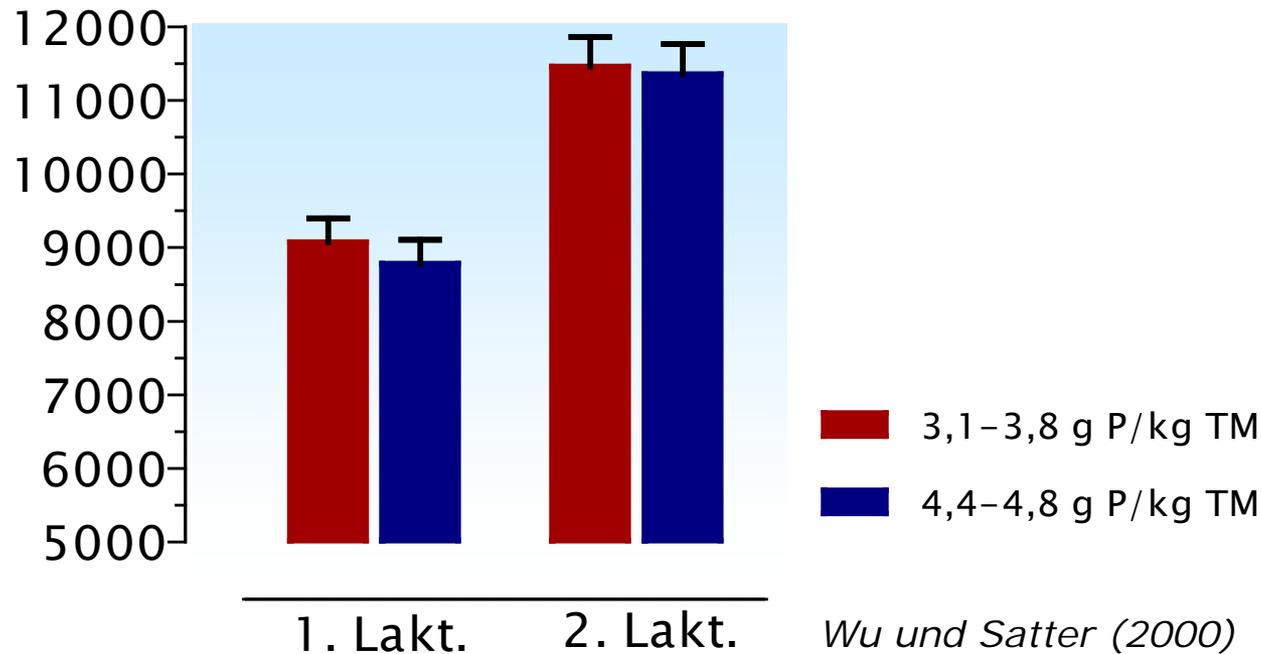
- P-Gehalte im Urin (mmol/L)

pH Werte im Urin bei P-Zulage leicht vermindert, aber nicht durchgehend signifikant.

*Engelhard et al. (2011)*

# Weitere Untersuchungen

Milch (kg in 308 d)



# Weitere Versuchsdaten neueren Datums

Unterste P-Konzentration, bei der keine negativen Effekte festgestellt wurden (g P/kg TM)

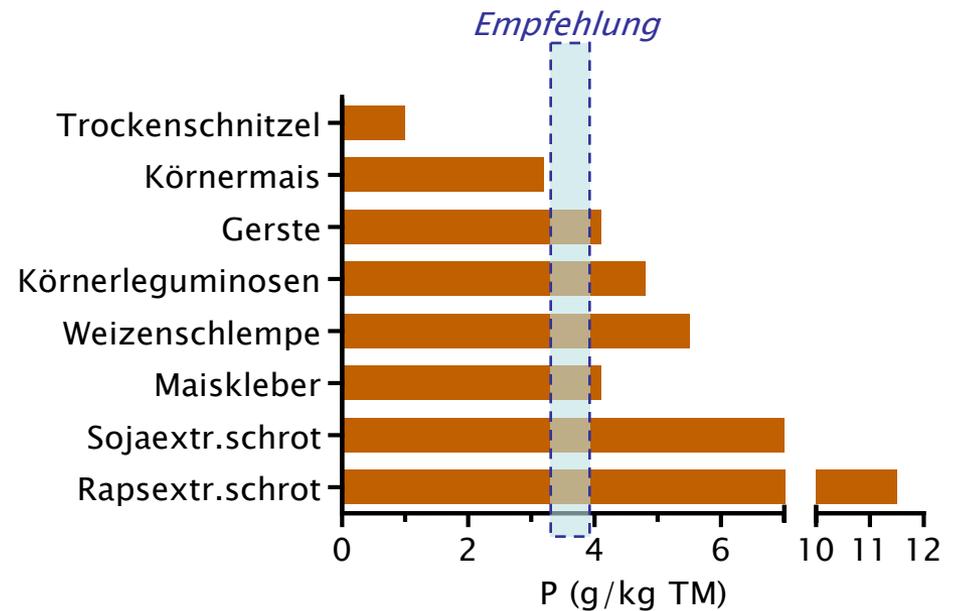
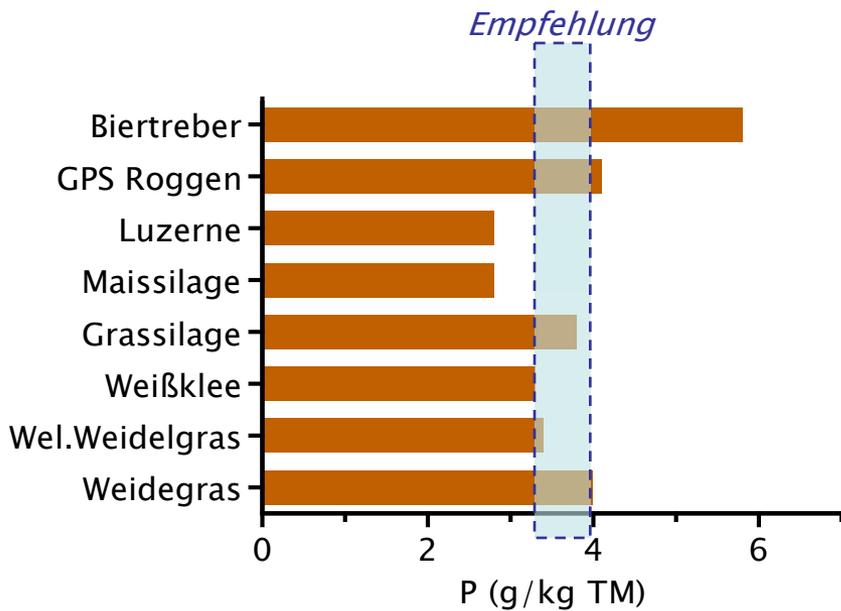
|     |                                              |                       |
|-----|----------------------------------------------|-----------------------|
| 3,5 | Milchleistung, Zellzahlen                    | Odongo et al. 2007    |
| 3,5 | Milchleistung, Fruchtbarkeit                 | Tallam et al. 2005    |
| 3,6 | Milchleistung, Futteraufnahme, Fruchtbarkeit | Ferris et al. 2010a,b |
| 3,8 | Milchleistung, Fruchtbarkeit                 | Wu und Satter 2000    |

P-Konzentration, bei der ein negativer Effekt festgestellt wurde (g P/kg TM)

|     |                        |                    |
|-----|------------------------|--------------------|
| 3,2 | Milchleistung          | Wu 2005            |
| 3,1 | Mineralisierung Rippen | Wu et al. 2001     |
| 2,9 | Osteocalcin im Plasma  | Kamiya et al. 2005 |

- Untersuchungen auch aus anderen Ländern bestätigen, dass die Empfehlungen der GfE hinreichend sicher sind, auch bei hohem Leistungsniveau.
- Sicherheitszuschläge sind nicht erforderlich.
- Die P-Gehalte in den Rationskomponenten müssen gut bekannt sein.

# Mittlere Gehalte in Futtermitteln



Variation bei Grobfuttermitteln beachten!

Tableau 1 : moyennes par région des teneurs en minéraux des fourrages secs ventilés (2000 à 2009)

| Région | Echantillons | g par kg MS |     |
|--------|--------------|-------------|-----|
|        |              | Ca          | P   |
| 1      | 159          | 9.4         | 3.2 |
| 2      | 714          | 8.6         | 3.2 |
| 3      | 2554         | 7.7         | 3.4 |
| 4      | 762          | 8.0         | 3.5 |
| 5      | 120          | 8.5         | 2.9 |
| 6      | 1976         | 7.1         | 3.7 |
| 7      | 860          | 8.4         | 3.3 |
| 8      | 1386         | 7.9         | 3.6 |
| 9      | 797          | 8.4         | 3.4 |
| 10     | 367          | 10.9        | 1.8 |
| 11     | 28           | 7.6         | 2.6 |
| 12     | 65           | 9.5         | 2.0 |
| Ø      | 9788         | 8.0         | 3.4 |

| Mittlere Mineralstoffgehalte von Gras aus dem ersten Vegetationszyklus, Stadium 3, Typ E und G, stammend aus der Westschweiz |           |           |           |         |             |             |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|-------------|-------------|-------------|
| Hauptnährstoffe                                                                                                              | MA        | CB        | CE        |         |             |             |             |
| [g/kg TS]                                                                                                                    | 151 ± 28  | 236 ± 31  | 78 ± 9    |         |             |             |             |
| Makroelemente                                                                                                                | Ca        | P         | Mg        | K       | Na          | Cl          | S           |
| [g/kg TS]                                                                                                                    | 6.0 ± 1.4 | 3.4 ± 0.6 | 1.8 ± 0.4 | 29 ± 5  | 0.33 ± 0.28 | 8.0 ± 3.4   | 1.72 ± 0.31 |
| Gehalt/Bedarf <sup>1</sup>                                                                                                   | 90%       | 90%       | 85%       | 393%    | 25%         | 285%        | 85%         |
| Mikroelemente                                                                                                                | Cu        | Co        | Fe        | Mn      | Zn          | Se          |             |
| [mg/kg TS]                                                                                                                   | 8.7 ± 1.8 | < 0.1     | 120 ± 48  | 62 ± 34 | 32 ± 10     | 0.03 ± 0.02 |             |
| Gehalt/Bedarf <sup>2</sup>                                                                                                   | 85%       | < 100%    | 225%      | 150%    | 65%         | 20%         |             |

<sup>1</sup> Empfohlene Zufuhr für eine Milchkuh (650 kg Lebendgewicht, 30 kg Tagesmilch); bei einem Tagesverzehr von 18 kg TS Gras und 2 kg Kraftfutter nicht-mineralisiert

<sup>2</sup> Empfohlene Zufuhr für eine Milchkuh oder eine Mutterkuh

Python et al. 2010

Schlegel et al. 2010

# Beispiel

## Analysendaten Grassilagen Baden–Württemberg

|                           | Mittelwert | Min.–Max.        |
|---------------------------|------------|------------------|
| <b>1. Schnitt</b>         |            |                  |
| NEL (MJ/kg TM)            | 6,2        | 5,4 – 6,9        |
| nXP (g/kg TM)             | 136        | 117 – 156        |
| <b>Phosphor (g/kg TM)</b> | <b>3,4</b> | <b>2,1 – 4,6</b> |
| Calcium (g/kg TM)         | 7,9        | 4,4 – 18,9       |
| <b>Folgeschnitte</b>      |            |                  |
| NEL (MJ/kg TM)            | 6,0        | 4,9 – 6,7        |
| nXP (g/kg TM)             | 136        | 109 – 157        |
| <b>Phosphor (g/kg TM)</b> | <b>3,6</b> | <b>2,5 – 5,3</b> |
| Calcium (g/kg TM)         | 10,1       | 4,3 – 17,8       |

*Leberl (2007)*

- Bei Überversorgung der Böden mit P kann man von einem überdurchschnittlich hohen Gehalt an P im vegetativen Teil der (jungen) Aufwüchse ausgehen
- Bei andauernder Unterversorgung der Böden mit P werden auch die P-Gehalte in den Aufwüchsen geringer ausfallen

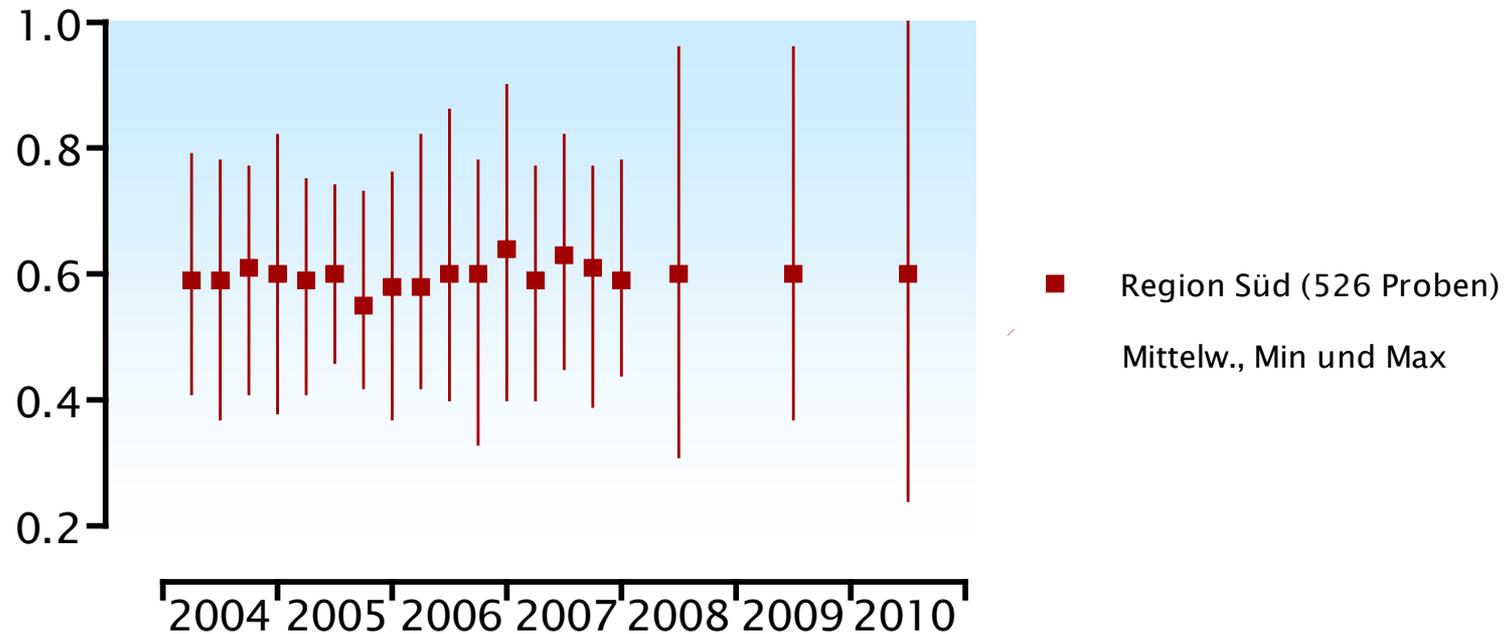
- Die Gehalte an Mineralstoffen in den Grobfuttermitteln müssen in regelmäßigen Abständen untersucht werden, damit der Einzelbetrieb einen Überblick über die Mineralstoffgehalte seiner Grobfuttermittel hat.

- P-Versorgung über Mischfuttermittel  
(Beispiele aus DE)

# P-Gehalte im Milchleistungsfutter

## ► MLF für ausgeglichene Grundrationen

P-Gehalt (%)

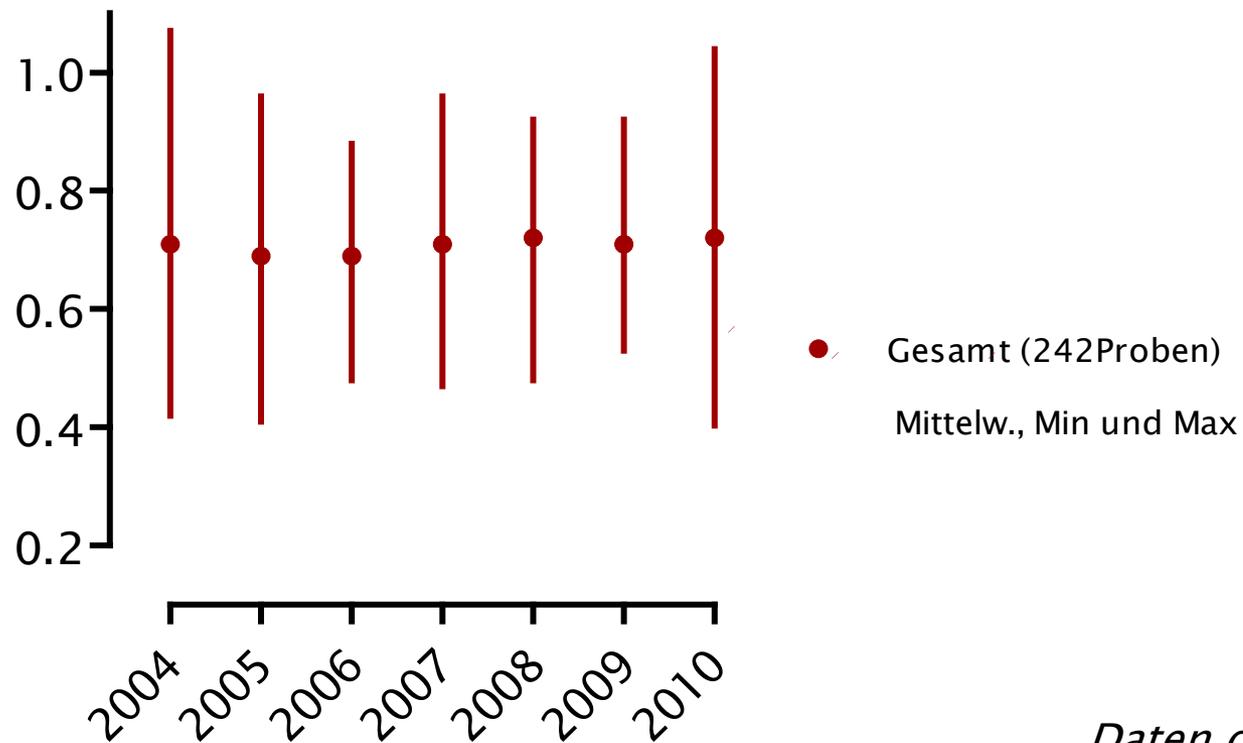


*Daten des VFT 2004-2010*

# P-Gehalte im Rindermastfutter

## ▶ Alle geprüften Mischfutter

P-Gehalt (%)



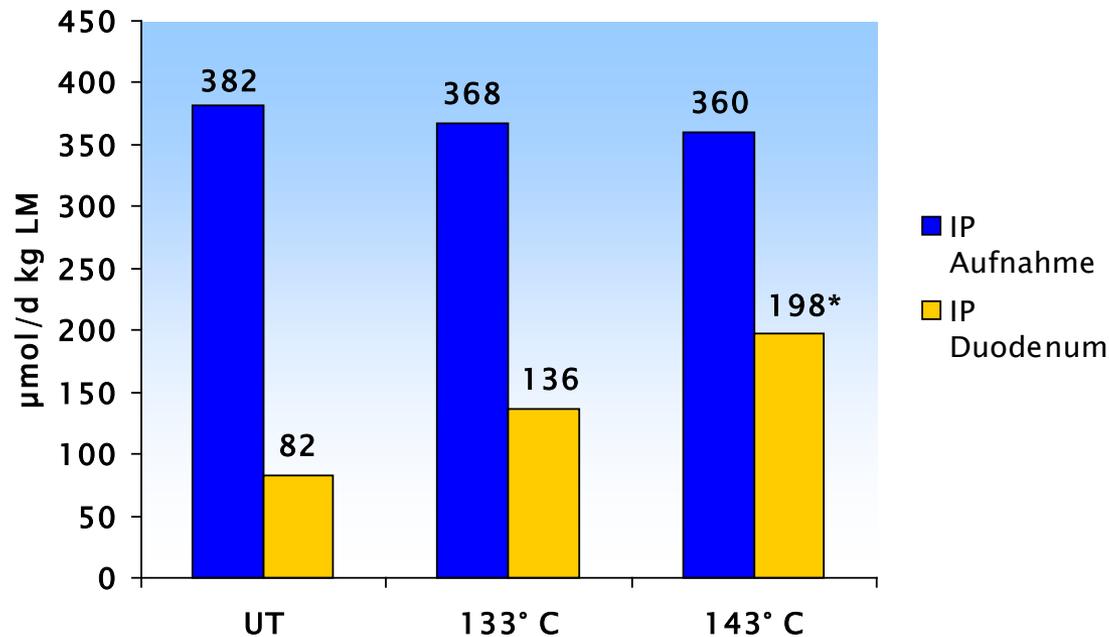
*Daten des VFT 2004-2010*

# Aktuelle Forschungsaspekte: Umsetzung des pflanzlichen Phosphors

- Bisherige Annahme:  
Mikrobielle Phytasen hydrolysieren Phytin im Pansen nahezu vollständig.
- Neuere Untersuchungen zeigen, dass auch bei Wiederkäuern Phytin im Kot ausgeschieden wird (Kincaid et al. 2005; Park et al. 2002).
- *In situ*-Studien zeigten erhebliche Unterschiede sowohl im löslichen als auch im potenziell abbaubaren Anteil des P bei verschiedenen Einzelfuttermitteln (Bravo et al. 2000).
- Diese Aspekte, einschließlich der Sinnhaftigkeit eines Einsatzes von Phytase, bedürfen weiterer Untersuchungen.

# Auswirkungen von Futtermittelbehandlungen auf die ruminale P-Umsetzung

- Hitzebehandlung:
  - Fluss von Phytin (IP) am Duodenum erhöht



IP am Duodenum im Vergleich zur Aufnahme mit dem Futter bei Fütterung von Rapsextraktionsschrot (unbehandelt (UT), Hitzebehandlung bei 133° C und bei 143° C; \*  $p < 0,05$ ), nach Park et al. (2000)

# Zwischenfazit

- Eine Notwendigkeit für die Ergänzung mineralischer P-Quellen zu Milchvieh- und Rindermastrationen besteht in sehr vielen Fällen nicht.
- Besondere Beachtung benötigen Rationen mit hohen Anteilen von Maissilage, Körnermais und Rübenschnitzeln oder in Regionen mit bekanntermaßen niedrigen P-Gehalten in Grünlandaufwüchsen.
- Die Variation im P-Gehalt von Mischfuttermitteln für Milchkühe und Mastrinder ist hoch und muss zusätzlich beachtet werden.
- Der Verzicht auf eine unnötige Ergänzung mit mineralischem P senkt die Futterkosten, entlastet die betriebliche P-Bilanz, und ist ein Beitrag zur Ressourcenschonung.

# Verhältnis Ca:P

## Endogener Phosphat-Kreislauf beim Wiederkäuer

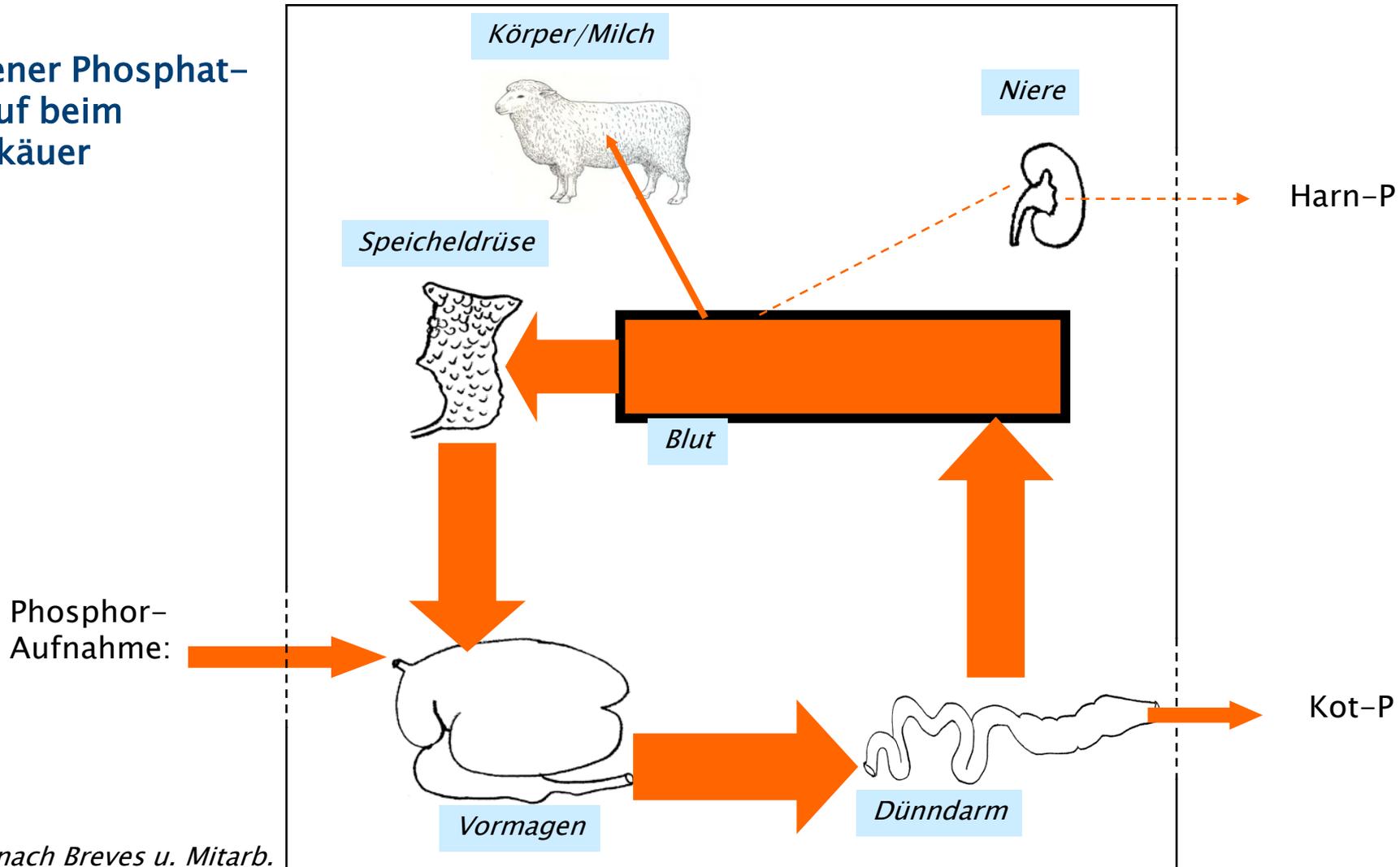
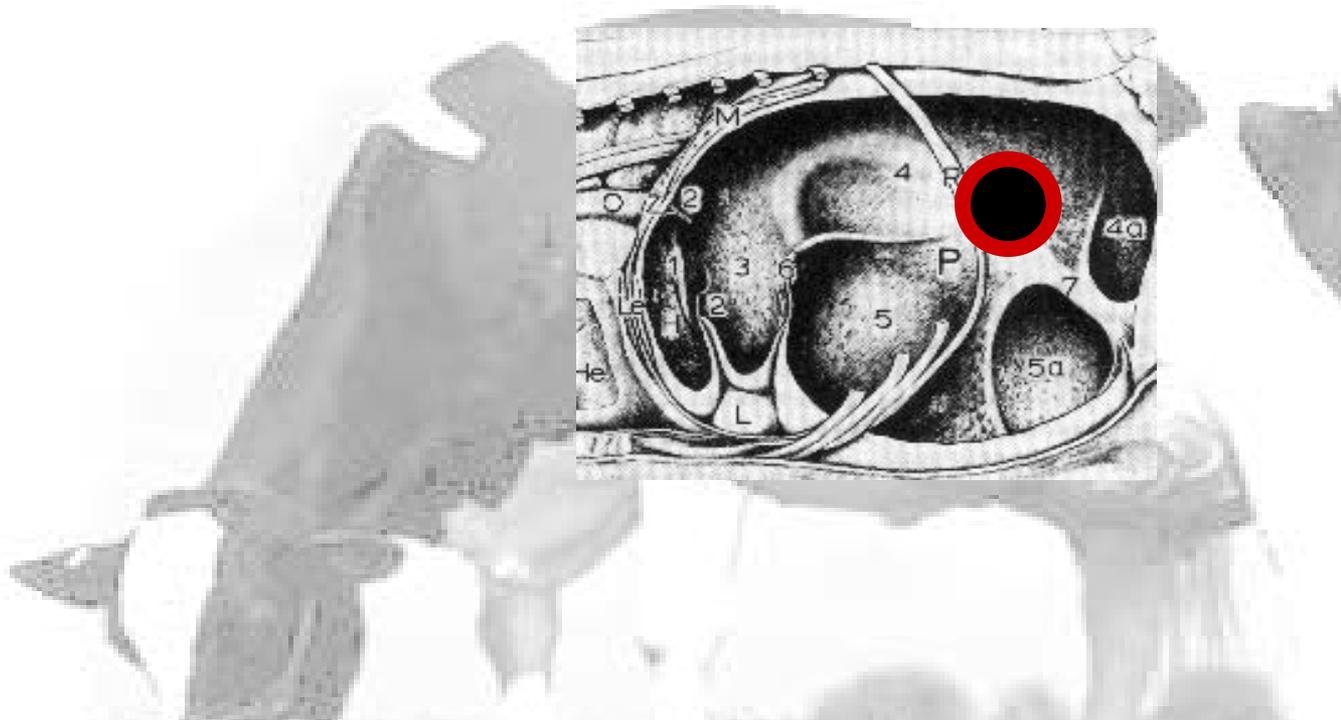


Abb. nach Breves u. Mitarb.

# Verhältnis Ca:P

- Das Ca:P–Verhältnis in der Ration ist bei Wiederkäuern für die Absorptionsbedingungen im Dünndarm nicht relevant.
- Ist der Bedarf an beiden Elementen gedeckt, braucht das Verhältnis nicht zusätzlich beachtet werden.



Die Mikroorganismen haben einen eigenen Bedarf an P. Dieser ist gedeckt, wenn der Bedarf des laktierenden Wirtstieres gedeckt ist.

# Aussagefähigkeit von Blutwerten

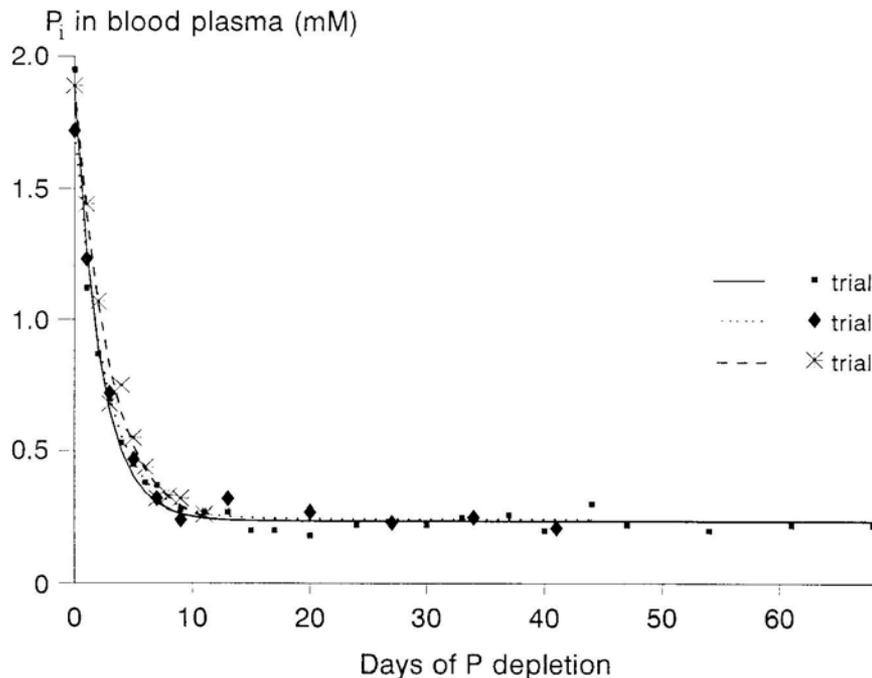


Fig. 1.  $P_i$  concentration in blood plasma of goats in trials 1 and 2 ( $n = 4$  each) as well as in serum of 4 cows (trial 4) during periods of P depletion. Mean SD was 0.22 mM in trial 1, 0.21 mM in trial 2, and 0.31 mM in trial 4. Parameters estimated by regression analysis are summarized in Table 2.

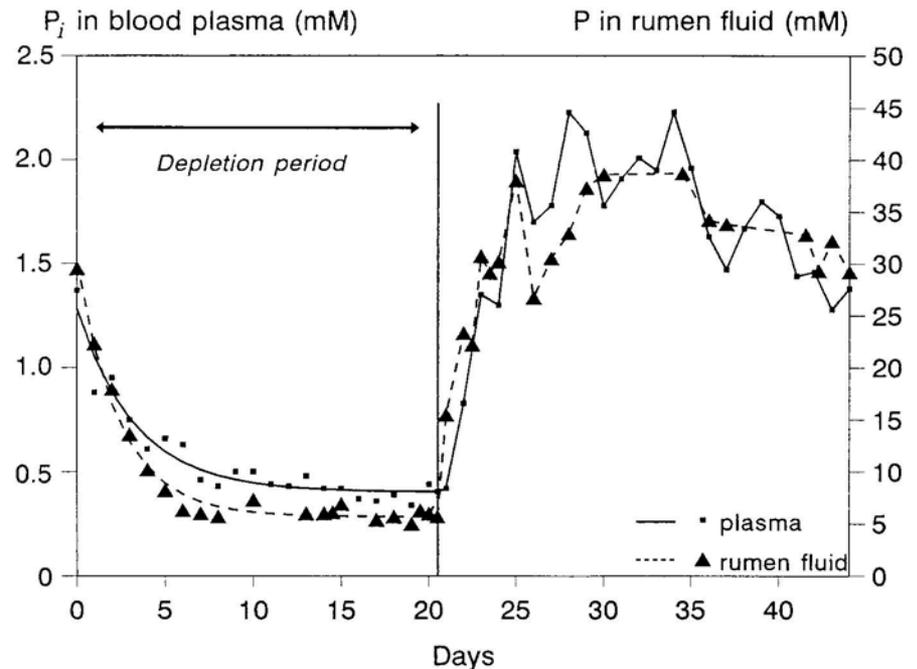


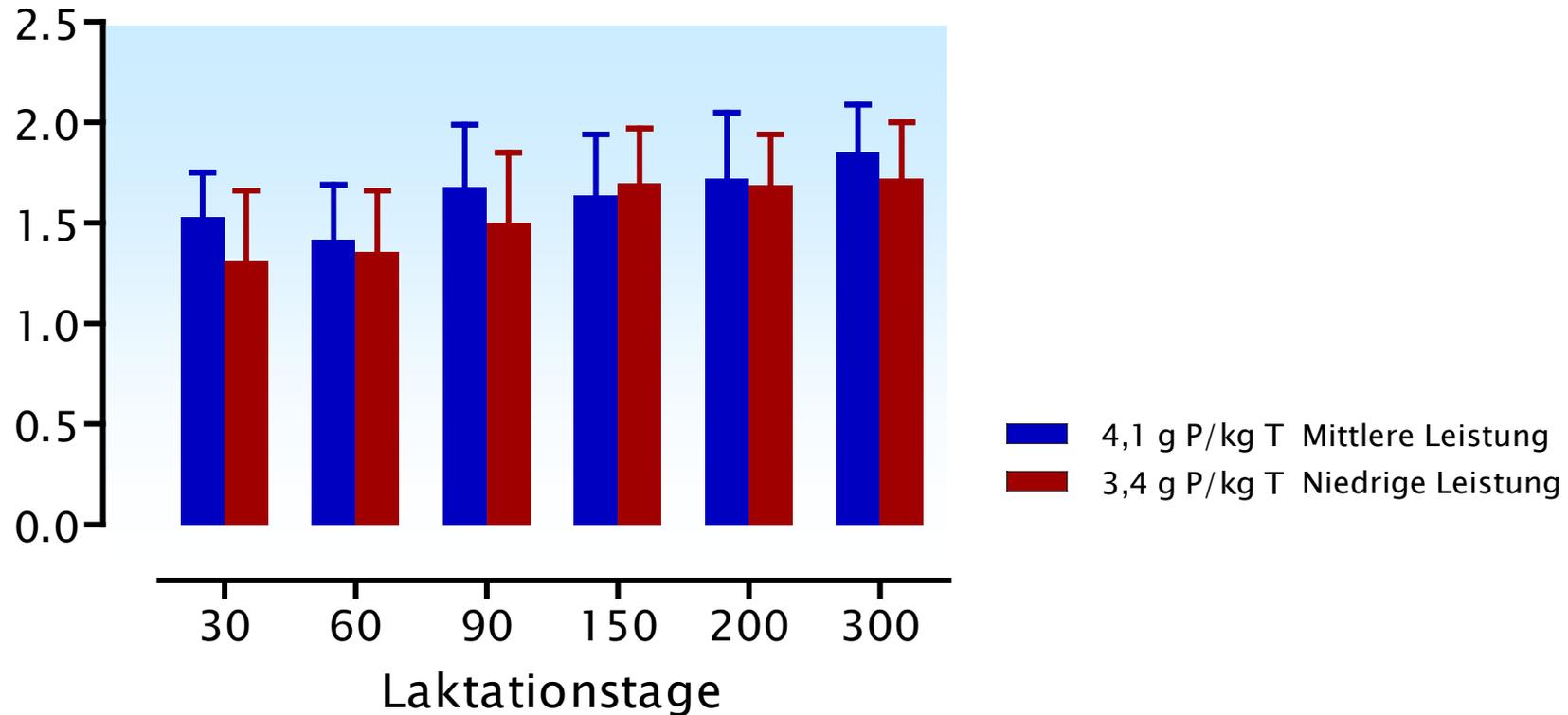
Fig. 2. Concentration of  $P_i$  in blood plasma and concentration of P in rumen fluid of 3 goats (trial 3) during periods of P depletion and subsequent P repletion. Values of P depletion were subjected to regression analysis. Estimated parameters are summarized in Table 2.

*Rodehutschord et al. (1994)*

# Aussagefähigkeit von Blutwerten

## ► Anorg. Phosphat im Blutserum von Milchkühen

mmol/L



*Brintrup (1993)*

# Aussagefähigkeit von Blutwerten

- Phosphatkonzentrationen sind sehr variabel und von der aktuellen Höhe der P-Absorption abhängig
- Sie spiegeln nicht den Versorgungsstatus des Tieres wider
- Standardisierung der Referenzwerte?

# Schlussfolgerungen

- Die P–Ausscheidung von Tieren ist unter Aspekten der Umweltwirkung und des Ressourceneinsatzes nicht *per se* ein Problem.
- Bei den Versorgungsempfehlungen für Milchkühe hat sich das Rechnen mit einer Verwertbarkeit von 70% bewährt. Wichtig ist die konsequente Umsetzung der Empfehlungen in der Fütterungspraxis auf der Basis von Futteranalysen.
- Die gesamtgesellschaftliche Herausforderung besteht in der Vermeidung unwiederbringlicher Verluste, insbesondere über Siedlungsabwässer und Tiermehl.