



University of
Zurich^{UZH}

Institute of Animal Nutrition



Verdaulichkeit

dröge Theorie oder faszinierender „roter Faden“ in der Tierernährung



PD Dr. Anne Mößeler-Witte; DECVCN

04.06.2019 Vorlesung

im Rahmen des Berufungsverfahrens W3 Professur „Tierernährung und Futtermittelkunde“
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

University of Bern | University of Zurich
vetsuisse-faculty

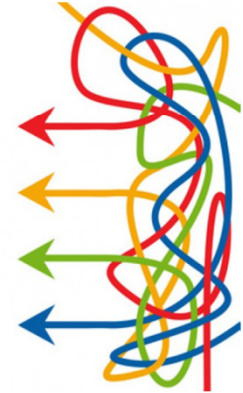
ACCREDITED BY EAAC/EFMD





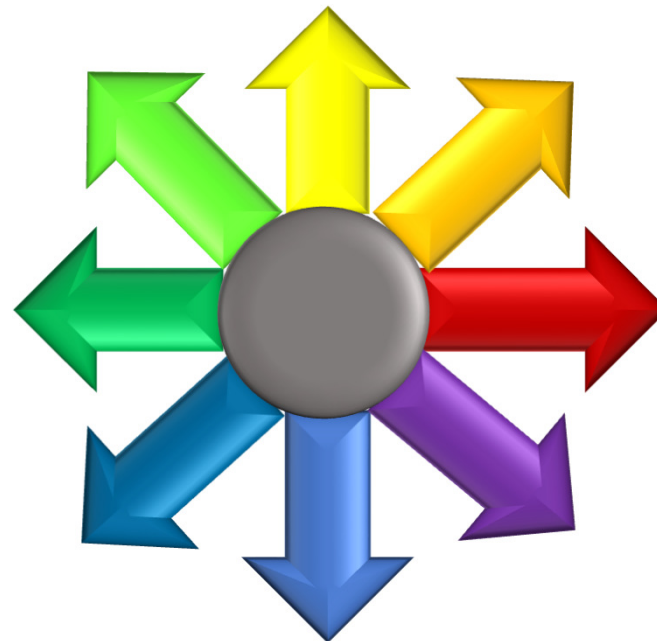
Gliederung

- **Verdaulichkeit**
 - **Hintergrund**
 - **Methodik der Bestimmung (in vivo)**
 - **Kollektionsmethode vs. Markermethode**
 - **Verdaulichkeit über den gesamten GIT vs. „partielle“ Verdaulichkeit**
 - **Praktische Bedeutung**
 - **Beispiele aus dem Alltag**
 - **Beispiele aus der Forschung**
 - **Zusammenfassung**





Warum ist die Verdaulichkeit die „Basis“ in der Tierernährung ?





Wozu wird eine nähere Charakterisierung der Verdaulichkeit benötigt ?

- **Bedarfsgerechte Energie-/Nährstoffversorgung**
 - leistungsgerechte Versorgung
 - Umweltbelastung ↓ (z. B. Ausscheidung von N und P)
- **Empfehlungen zur Futtermittelgewinnung/-produktion**
 - z. B. „idealer“ Erntezeitpunkt von Grünfutter
 - z. B. thermische Behandlung von Stärke
- **Optimale Rationsgestaltung**
 - Wiederkäuer: „Synchronisation des ruminalen Abbaus“
→ Abbaukinetik von zentraler Bedeutung
 - Monogastrier: altersabhängige Mischfutter-Rezeptur
- **Ökonomische Gründe (Futter = Kosten)**





Wozu wird eine nähere Charakterisierung der Verdaulichkeit benötigt ?

- **Bedarfsgerechte Energie-/Nährstoffversorgung**
 - leistungsgerechte Versorgung
 - Umweltbelastung ↓ (z. B. Ausscheidung von N und P)

- **Empfehlungen zur Futtermittelproduktion**

Limitierte Aussagekraft der chemischen Analytik !
Verdaulichkeitswerte sind weltweit die Grundlage aller Futterbewertungssysteme (Energie & Protein)

... des ruminalen Abbaus“
 ... von zentraler Bedeutung
 Monogastrier: altersabhängige Mischfutter-Rezeptur

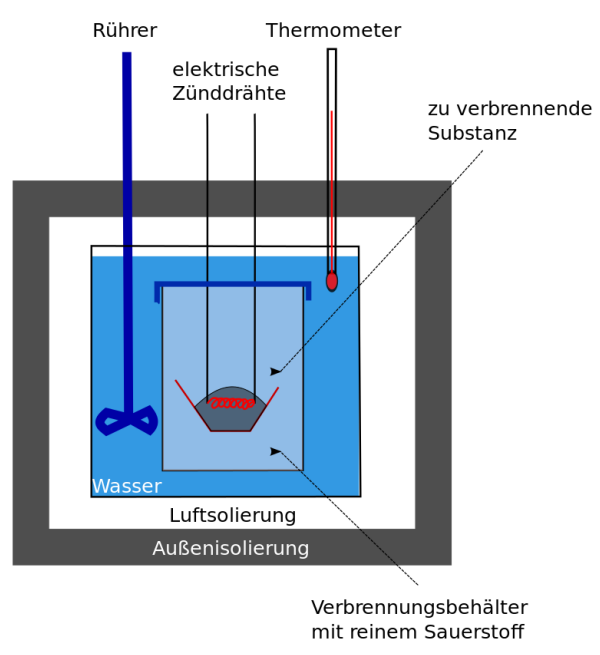
- **Ökonomische Gründe (Futter = Kosten)**





Ermittlung der BRUTTOENERGIE (GE)

Verbrennung im Bombenkalorimeter



⇒ **physikalischer Brennwert**
keine Aussage über den Nutzen für das Tier !





Brennwerte von „Biomasse“

	Heizwert	
	kWh/kg	MJ/kg
Heizöl	11,0	41,5
Laubholz (getr.)	5,11	18,4
Weizenkörner	4,72	17,0
Getreidestroh	4,78	17,2



Weizen verheizen ?

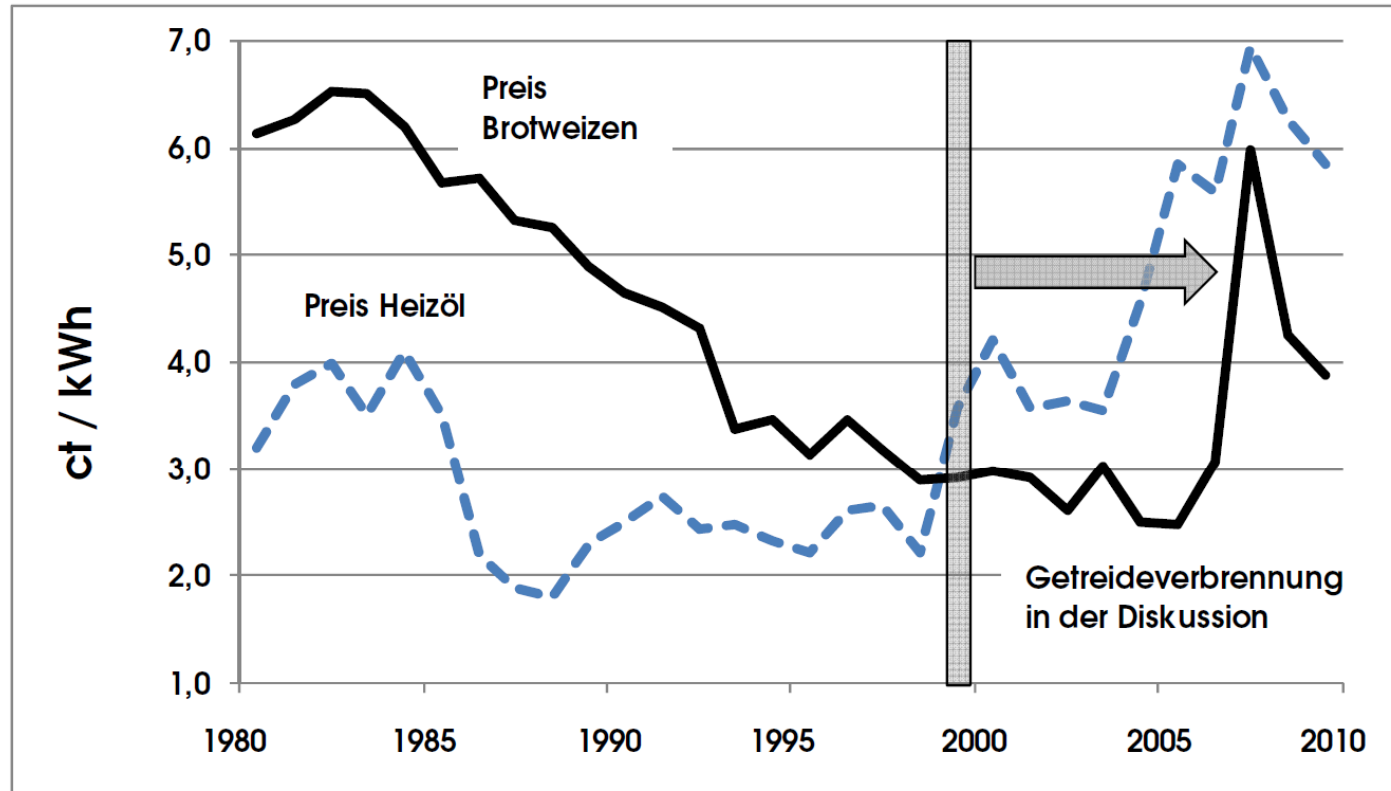


Abbildung 1: Entwicklung des Energie- und Agrarmarktes (Preise: Statistisches Bundesamt, ZMP, eigene Darstellung)



S5

Aussage durchaus spannend - weil es auch verdeutlicht, dass Tierernährung immer in Konkurrenz zu Lbm und Energieproduktion steht -
dennoch ggf. entbehrlich ?

Sellit; 25.05.2019

Weizen verheizen ?

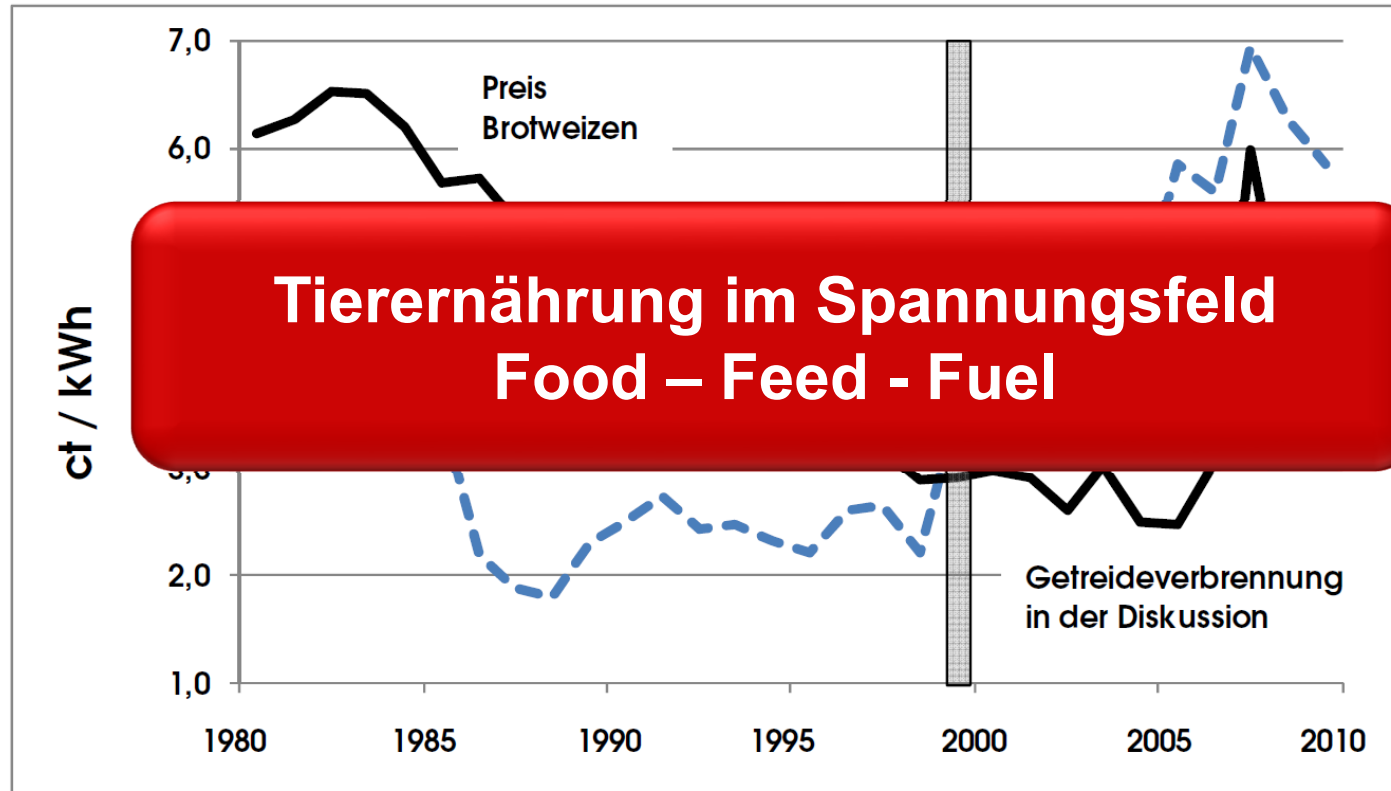


Abbildung 1: Entwicklung des Energie- und Agrarmarktes (Preise: Statistisches Bundesamt, ZMP, eigene Darstellung)



S5

Aussage durchaus spannend - weil es auch verdeutlicht, dass Tierernährung immer in Konkurrenz zu Lbm und Energieproduktion steht -
dennoch ggf. entbehrlich ?

Sellit; 25.05.2019



„Stufen der Energiebewertung“

Netto-Energie (NE)	Wärme	Harn Gase	Kot
Umsetzbare Energie (ME)		Harn Gase	Kot
Verdauliche Energie (DE)			Kot
Brutto-Energie (GE)			

Beispiel:

Brennwert (GE): Stroh > Weizenkörner

Futterwert (DE; ME): Weizenkörner > Stroh





Verdaulichkeit, Definition

Anteil der mit dem Futter aufgenommenen Energie u./o. Nährstoffe, der nicht wieder mit dem Kot ausgeschieden wird.

Angabe in Prozent (max. 100) oder als Faktor (max. 1)



Quelle: Kamphues et al. 2014
Supplemente zur Tierernährung





„Scheinbare“ & „wahre“ Verdaulichkeit

$$sV (\%) = \frac{\text{Futter} - \text{Kot}}{\text{Futter}} \times 100$$

$$wV (\%) = \frac{\text{Futter} - (\text{Kot} - \text{endogene Verluste})}{\text{Futter}} \times 100$$

- **Rohfaser** und **Stärke** (keine Sekretion oder „Abschilferung“ in den MDT
→ scheinbare Verdaulichkeit = wahre Verdaulichkeit)
- Andere Nährstoffe (insb. **Rohprotein**, aber auch **Rohfett**; Mineralstoffe)
→ „*endogene Verluste*“ → scheinbare Verdaulichkeit < wahre Verdaulichkeit.

Quelle: Kamphues et al. 2014
Supplemente zur Tierernährung





Verdauungsversuche in vivo

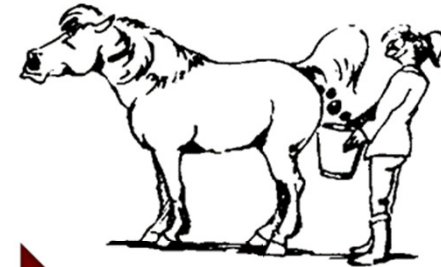


Exakte Quantifizierung von

- **Aufnahme**
- **Ausscheidung**

an Energie u./o. Nährstoffen

Analyse von Futter & Kot



Anfütterungsphase

Kollektionsphase

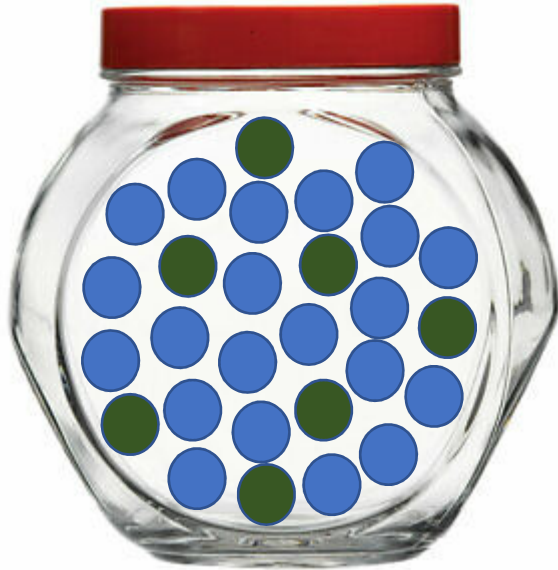
Dauer: je min. 1 Passagerate

- Pferd, Wiederkäuer: 10 Tage
- Schwein, Hund, Geflügel: 5 Tage





Berechnung der Verdaulichkeit mittels Markermethode



Futter

- verdaulicher Nährstoff (21)
- unverdaulicher Marker (7)



Kot

- verdaulicher Nährstoff (7)
- unverdaulicher Marker (7)





Einflussfaktoren auf die Verdaulichkeit

Tier



- Spezies
- Alter
- Magen-Darm-Flora
- Verdauungskapazität
- Gesundheit / Zahnstatus

Futter

- Rohfaser-Gehalt & -Qualität
- Ration (z.B. Fett-Gehalt (Wdk))
- ANF (Trypsininhibitoren, Tannine etc.)
- Nährstoffqualität allg.

Bearbeitung des Futters

- Zerkleinerung
- Garen / Kochen
- Coating

Enzym-Zusatz

- z.B. Phytasen
- NSP-spaltende Enzyme
- Pankreasenzyme

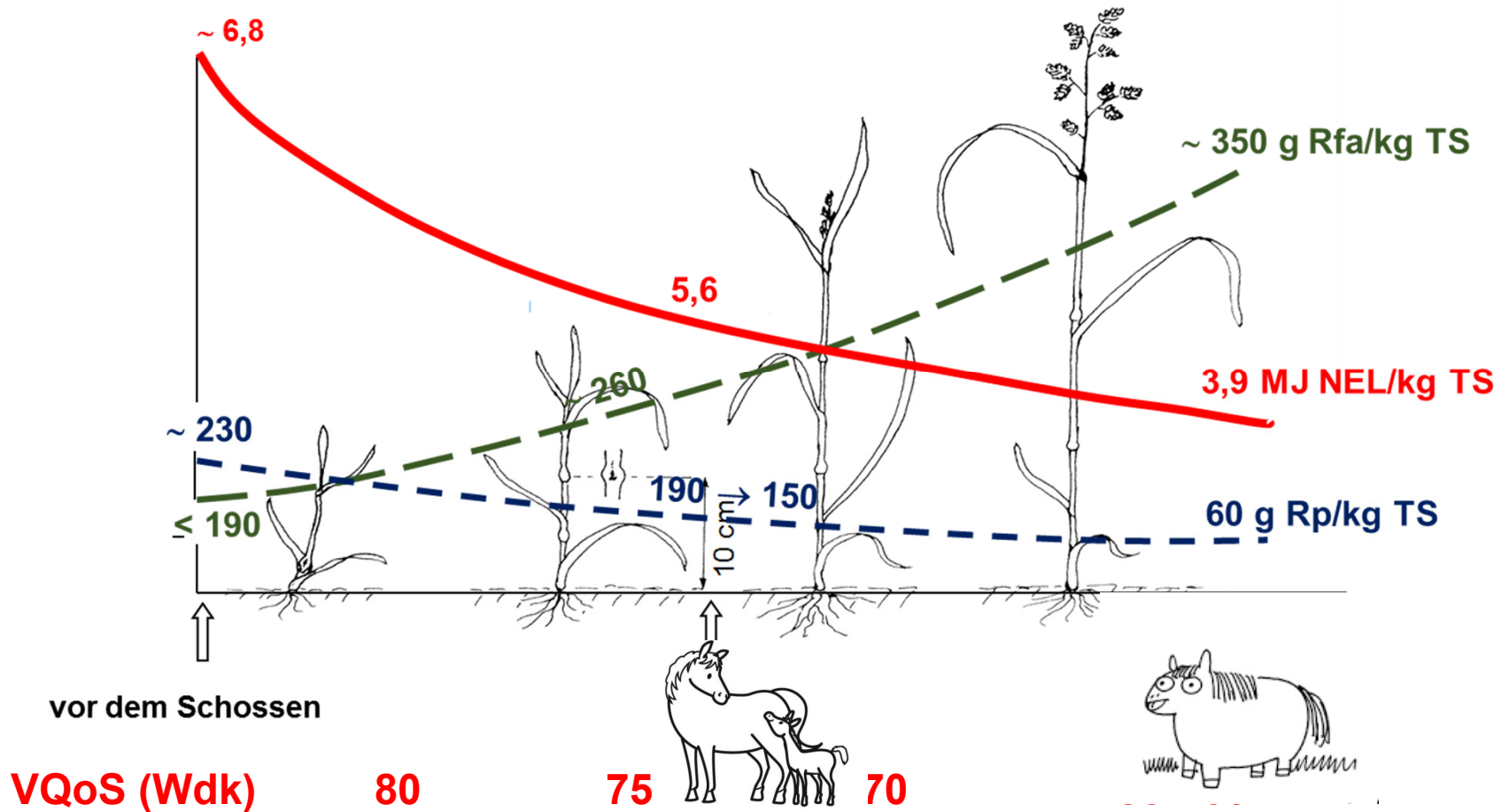




Einfluss des Futtermittels auf die Verdaulichkeit Beispiel: Vegetationsstadium des Aufwuchses

ACCREDITED BY EAEVE/FVE

University of Bern | University of Zurich
vetsuisse-faculty

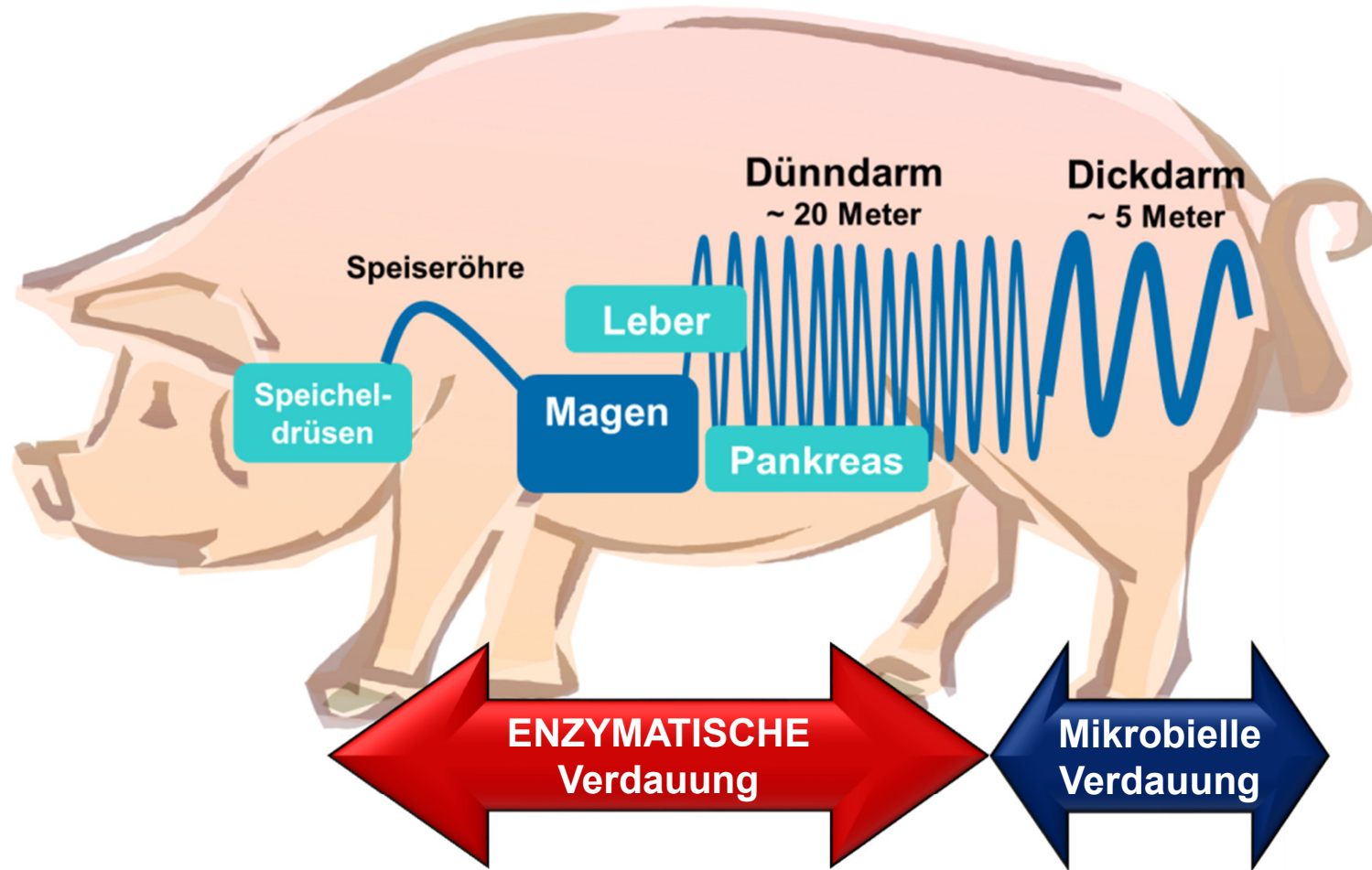


Mod. nach Kamphues et al. (2014)
Supplemente zur Tierernährung





Schematische Charakterisierung der Verdauungsprozesse bei Monogastriern

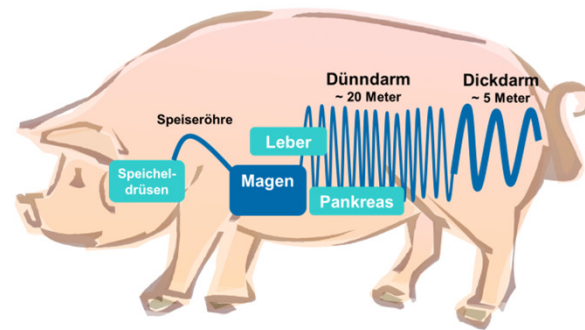


Monogastrier: Ableitung des Bedarfes auf Basis des praecaecal verdauten Proteins

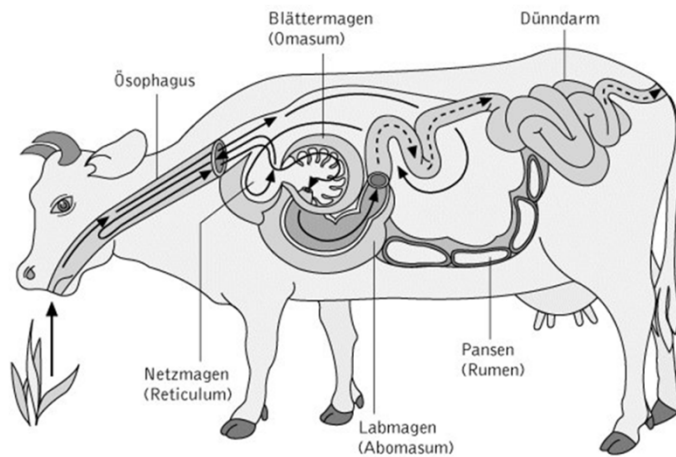




„Partielle“ Verdaulichkeit



Praecaecale Verdaulichkeit beim **Monogastrier** (Schwein, Pferd, Geflügel)



Ruminale / praeduodenale / Verdaulichkeit beim **Wiederkäuer**





Methoden zur Bestimmung der praecaecalen Verdaulichkeit

- Schlachtung (Marker im Futter notw.)
- Fistulierung
 - T-Kanüle
 - ileo-caecale Umleitungschanüle
- Ileo-rectale Anastomose



Beim Pferd Ableitung aus
chemisch-analytischen Daten
(nicht-Faser-gebundenes Rp)





Praktische Bedeutung der Verdaulichkeit

Beispiele aus dem Alltag





Praktische Bedeutung

Stark vereinfachte Beispielkalkulation

Besitzerin hat 2 aktive Hunde (je 40 kg KM)
Wechsel von einem Premiumfutter (90 % VQ)
auf ein weniger verdauliches Futter (80 % VQ)



	Premiumfutter	Standardfutter
Tägl. Futtermenge (g TS)	1000	1000
Verdaulichkeit	90 %	80 %
Futtermenge verdaut (g TS)	900	800
Futtermenge unverdaut (g TS)	100	200
Kotmenge (g uS)*	333	666

*Annahme: TS-Gehalt = 30 %





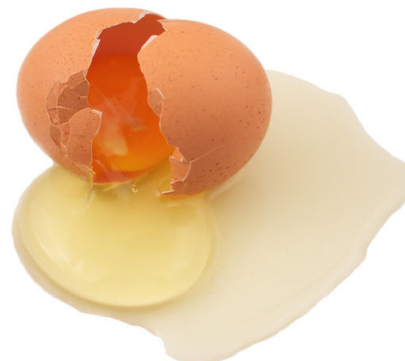
Einfluss der Bearbeitung des Futtermittels auf die Verdaulichkeit

Beispiel: Verdaulichkeit von Eiklar beim Hund in Abhängigkeit der Bearbeitung;
(nach Zentek, 2016)



Futtermittel	VQ gesamt (%)
Eiklar, roh	50 – 70
Eiklar, gekocht	90

Inaktivierung der Trypsininhibitoren





Kenntnisse zur Verdaulichkeit sind für etliche Teilbereiche der Tierernährung relevant

LEISTUNG

Bedarfsgerechte Fütterung

TIERGESUNDHEIT

z.B. hochverdauliche „Schonkost“ Hund mit akuter Diarrhoe
Foot Pad Dermatitis beim Geflügel
prc. Verdaulichkeit von Stärke beim Pferd

LEBENSMITTELQUALITÄT

z.B. Skatol; Komponente des „Ebergeruches“

LEBENSMITTELSICHERHEIT / VERBRAUCHERSCHUTZ

z.B. Salmonellen beim Schwein
„wet litter“ → Eintrag von Keimen in den Schlachthof ↑

UMWELTSCHUTZ

z.B. Einträge von N und P





Was haben die Kenntnisse zur Verdaulichkeit mit der TIERGESUNDHEIT zu tun ?

Praecaecale Verdaulichkeit der Stärke beim Pferd

(Meyer & Coenen, 2013)

	Prc. VQ (%)
Haferkörner, unbearbeitet o. gequetscht	80 - 95
Maiskörner, unbehandelt	29
Maiskörner, gepoppt	90

Futtermittel mit geringer prc. VQ

- Einstrom von prc. unverdauter Stärke in den Dickdarm
 - Fehlfermentation
 - Caecumacidose





Was haben die Kenntnisse zur Verdaulichkeit mit der TIERGESUNDHEIT zu tun ?

Beispiel: Hund mit gastrointestinalen Störungen

- Einsatz hochverdaulicher Komponenten
 - „Schonkost“ (nach Zentek, 2016)
 - Hühnerfleisch und Reis



Bild mit freundlicher Genehmigung
von Dr. Ab del Wahab

Beispiel: Foot Pad Dermatitis beim Geflügel

- z.B. NSP (unverdaulich ohne exogene Enzyme)
 - Wasserbindung; Viskosität der Digesta ↑
 - Feuchte, klebrige Exkreme
 - Schädigung der Fußballen (Foot Pad Dermatitis)





Was haben die Kenntnisse zur Verdaulichkeit mit der LEBENSMITTELQUALITÄT zu tun ?

Beispiel: **Ebergeruch des Fleisches**

- **Androstenon** (testikulär gebildet)
- **Skatol** (im Darm aus Tryptophan gebildet)
 - **Rohe Kartoffelstärke u./o. Inulin**
 - geringe prc. VQ
 - Fermentation im Dickdarm
 - Skatolbildung ↓





Was haben die Kenntnisse zur Verdaulichkeit mit der LEBENSMITTELSICHERHEIT zu tun ?

Beispiel: **Salmonellen beim Schwein**

Grobe Vermahlung des Getreides

→ geringere prc. VQ

→ Fermentation im Dickdarm

→ Butyratbildung ↑

→ Salmonellenprävalenz ↓



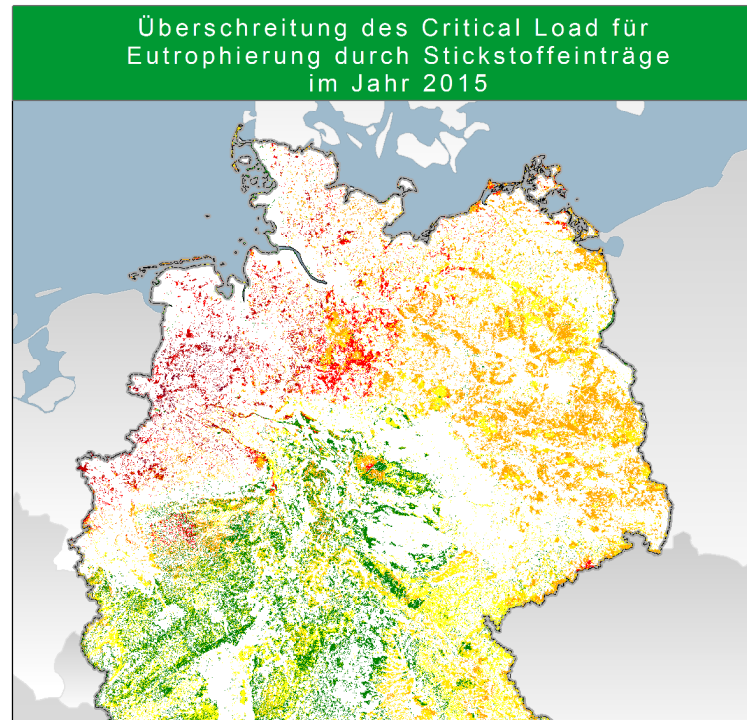


Was haben die Kenntnisse zur Verdaulichkeit mit der ÖKO-BILANZ der Tierproduktion zu tun ?





Massive Stickstoffeinträge in die Umwelt in Regionen mit hohen Tierzahlen



- Landkreis
Cloppenburg (2014)**
- Je Einwohner ca.
 - 1 Kuh
 - 10 Schweine
 - 100 Geflügel

**Minimierung der Stickstoff-Einträge
in die Umwelt durch exakt
bedarfsangepasste Fütterung**

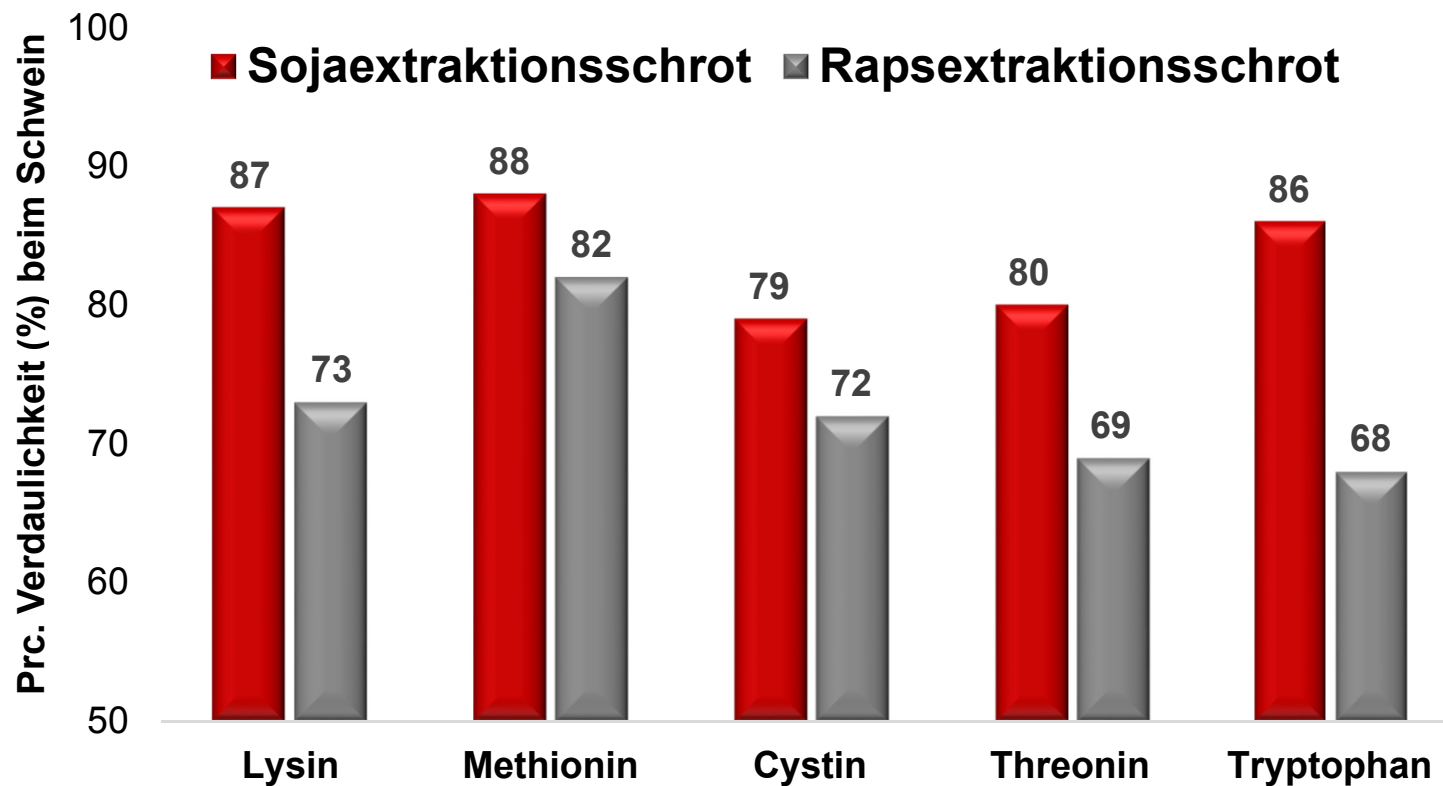
0 20 40 80 120 160 Kilometers
> 30 (0,50%)
September 2017





Monogastrier: Rationsoptimierung auf Basis der praecaecal verdaulichen Aminosäuren

Daten zur prc. Verdaulichkeit von Aminosäuren beim Schwein als Basis für die optimale Rationsgestaltung



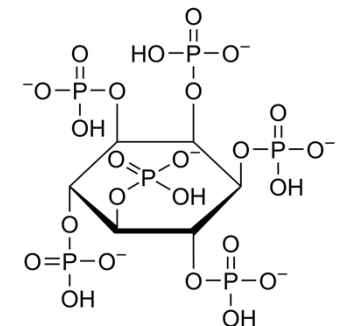
P-Gehalte und Verdaulichkeit versch. Phosphorquellen beim Schwein

	P (g/kg TS)	P-VQ (%)	P-VQ (%) + Phytase
Mono-Calcium-Phosphat	239	91	-
Fischmehl	25-27	88	-
Soja-Extraktionsschrot	~ 7	33	73
Raps-Extraktionsschrot	13,1	24	73

Steigerung der Verdaulichkeit durch Phytase-Einsatz:

Positive Effekte

- Ressourceneffizienz
- Umweltschutz





University of
Zurich^{UZH}

Institute of Animal Nutrition

Praktische Bedeutung der Verdaulichkeit

Beispiele aus der Forschung





Ein elementares Organ für die Verdauung – Pankreas; mikroskopisches Bild

Azinuszellen

> 90 % der Zellen

**Sekretion von Puffer &
Verdauungsenzymen**

(Lipase, Protease (inaktiv), Amylase)

exokriner Anteil

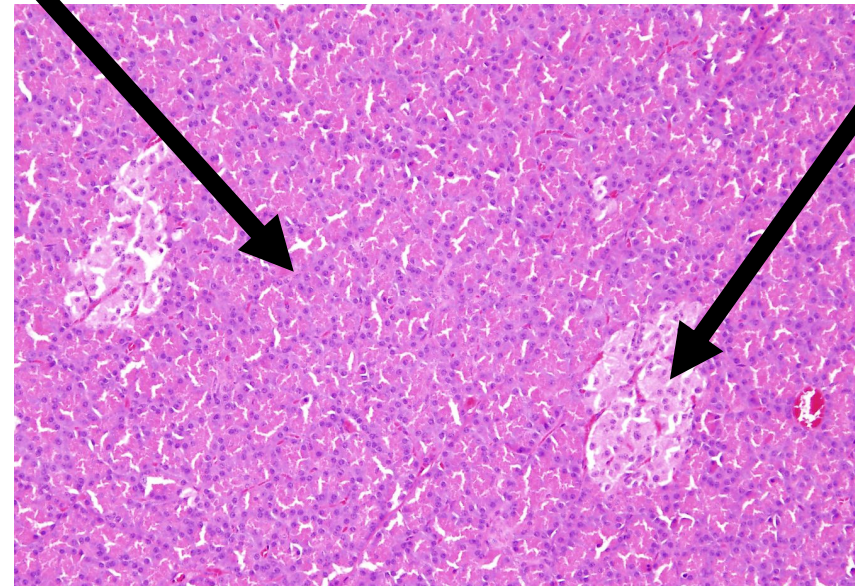
Langerhans Zellen

ca. 2 % der Zellen

Bildung von Hormonen

(u. a. Insulin & Glukagon)

endokriner Anteil





Exokrine Pankreasinsuffizienz (EPI)

Unterfunktion des exokrinen Pankreas

- Vorkommen bei Mensch und Tier
- Mannigfaltige Ätiologie:
 - Genetik (DSH; Mensch: u.a. Mukoviszidose)
 - Folge von Pankreatitis/Trauma

⇒ **Folgen:** **Maldigestion & Malabsorption
verschiedenster Nährstoffe**

⇒ **Therapie:** **Enzym-Substitution**



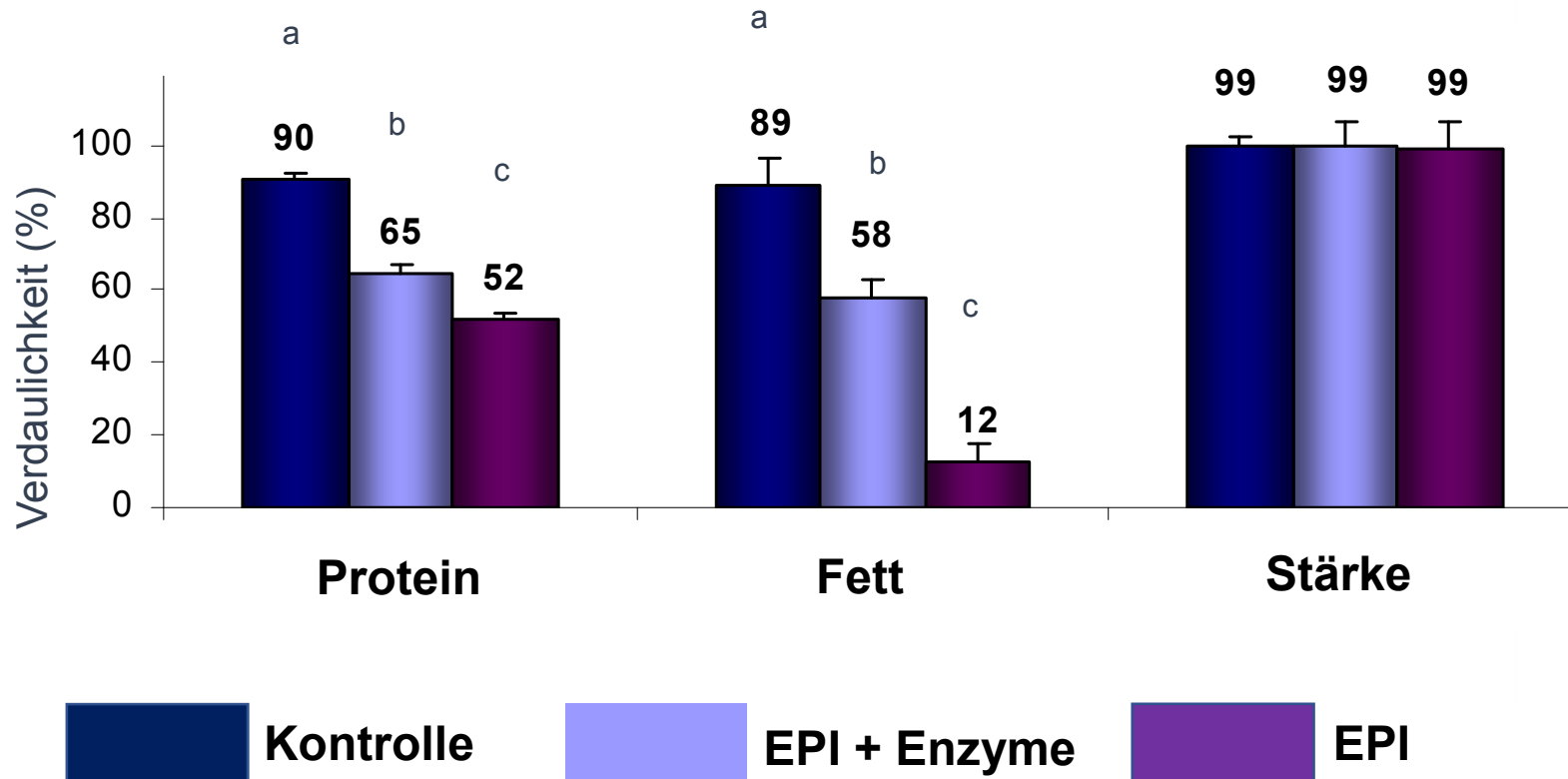
Bilder mit freundlicher Genehmigung von EPI4dogs.com





Nährstoffverdaulichkeit – was die Analyse der Faeces verrät

Studien an pankreasgangligierten Schweinen – chirurgisch induzierte EPI (Schwarzmaier, 2012)



a, b: $p \leq 0.05$





Kotquantität und -qualität



Kontrolle

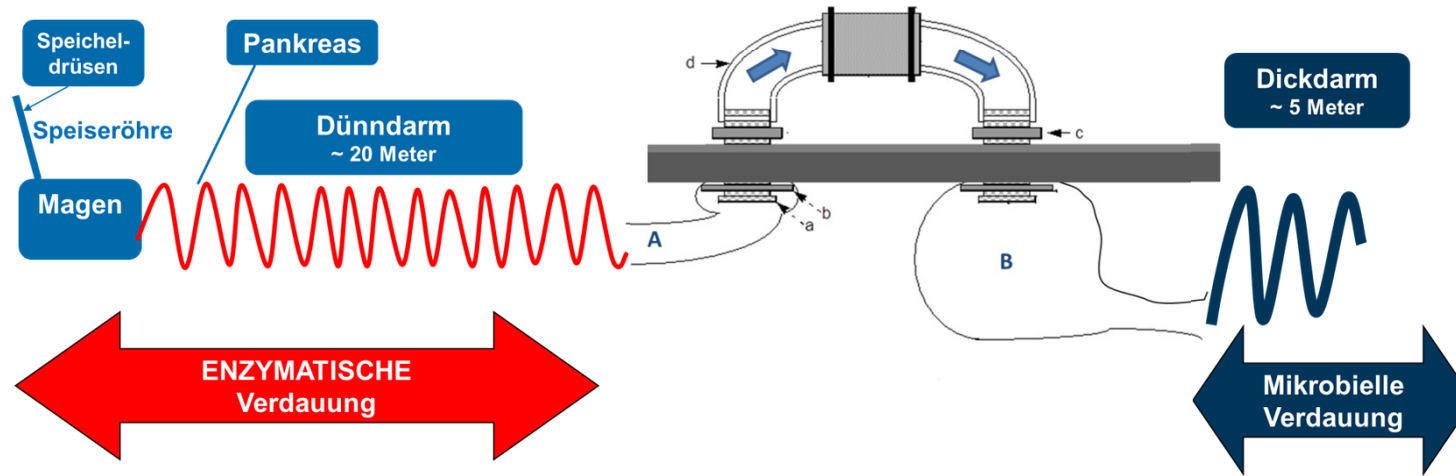
EPI + Enzyme

EPI





Auswirkungen der EPI auf die Verdauungsprozesse in Dünn- & Dickdarm



	Lehrmeinung*	Untersuchte Matrix	
Verdaulichkeit von			Kot
Fett	↓↓↓↓		↓↓↓↓
Protein	↓		(↓)
Stärke	+/-		+/-

Additional annotations in the table:

- A blue arrow labeled **Absorption** points from the Protein row to the (↓) result.
- A blue arrow labeled **aktiver Abbau** (active breakdown) points from the Stärke row to the +/- result.

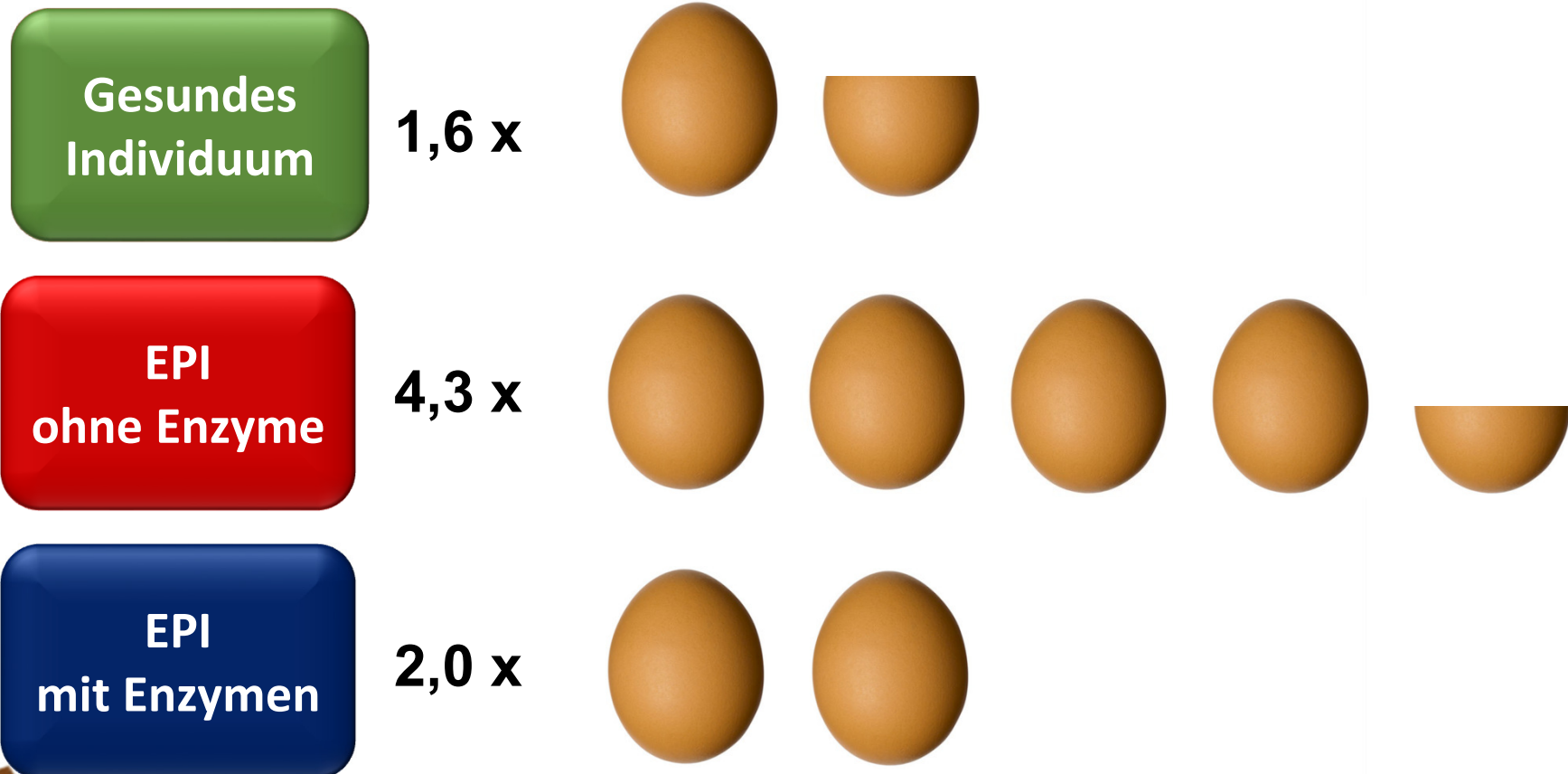
* z.B. Löhr 2009



Scheinbare prc. Proteinverdaulichkeit:

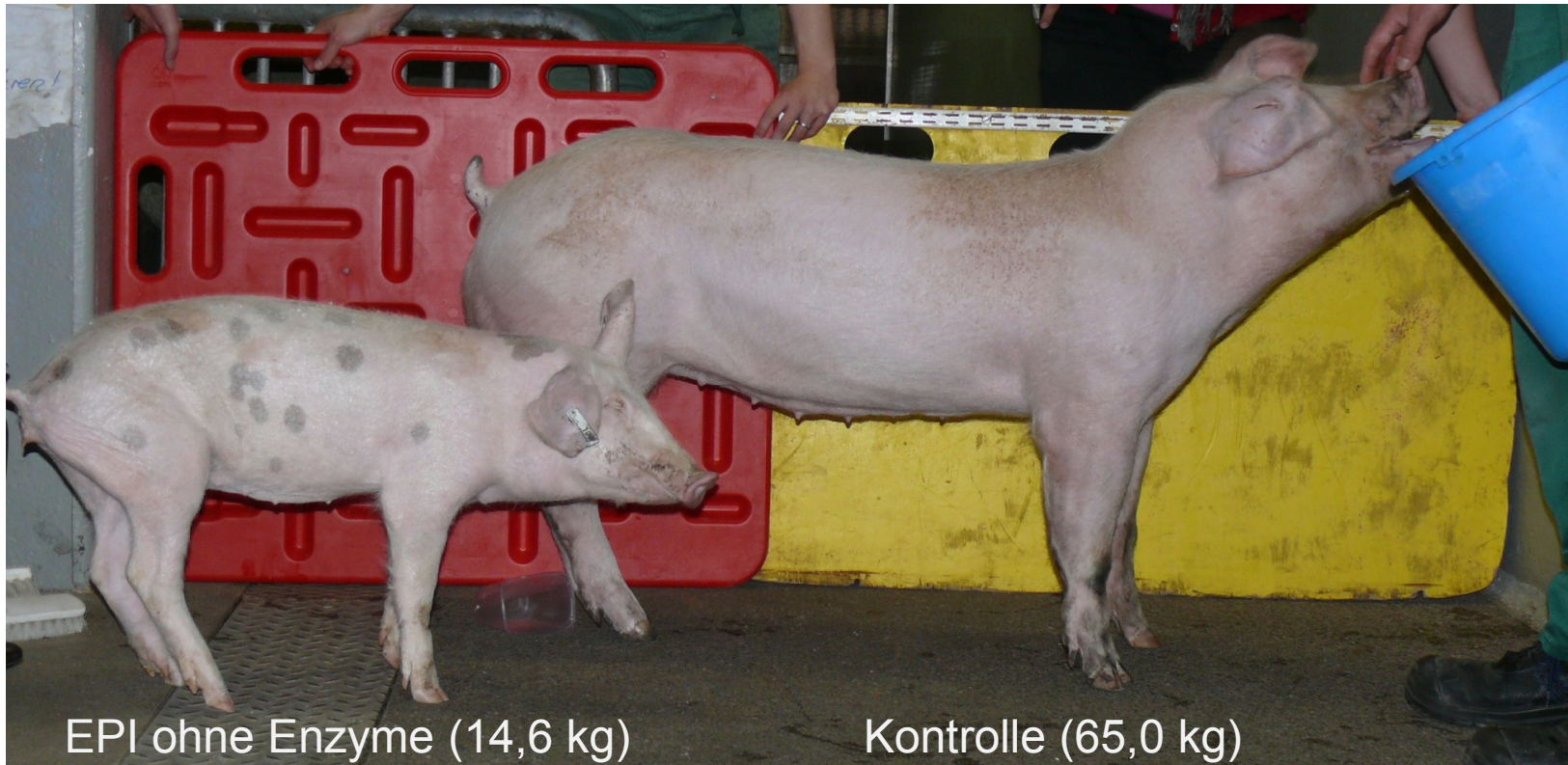
Kontrolle: ~ 80 %; EPI-Tiere: ~30 %; EPI + Enzymtherapie: ~ 65 %

Notw. Anzahl an Eiern zur Aufnahme von 10 g pcv Protein





Auswirkungen der EPI auf das Wachstum juveniler Schweine



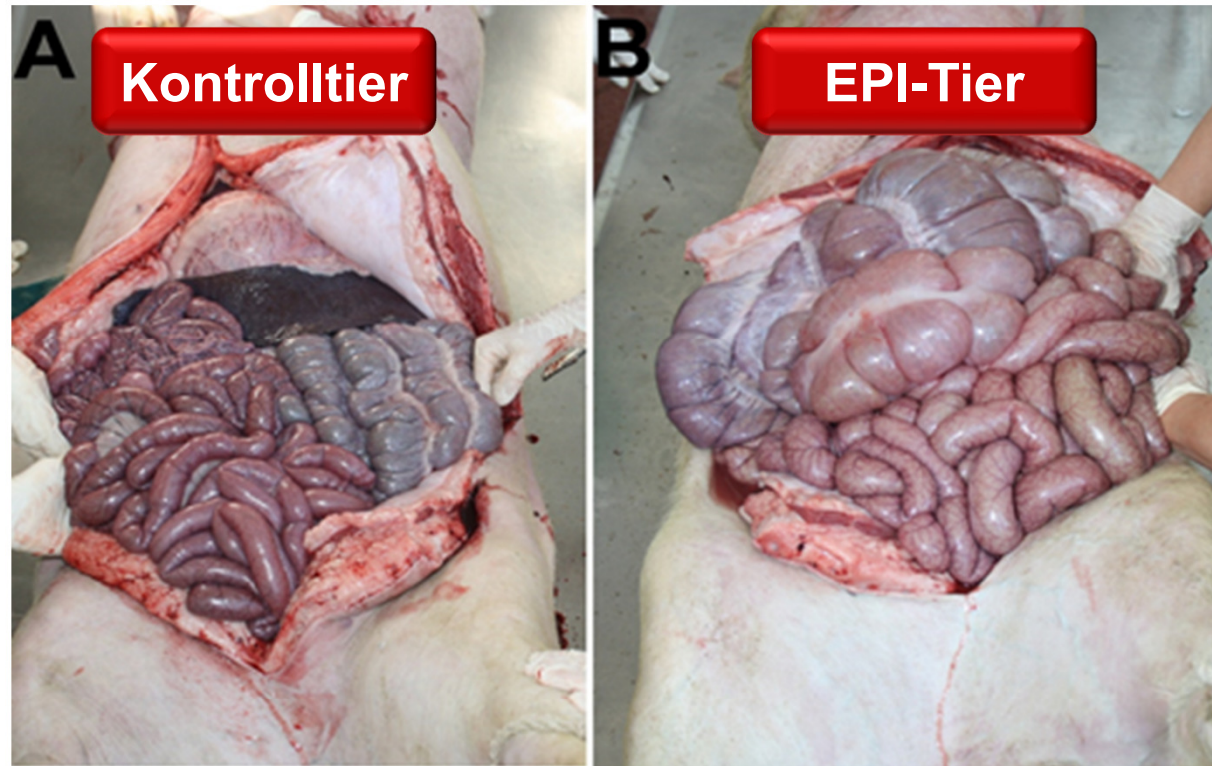
EPI ohne Enzyme (14,6 kg)

Kontrolle (65,0 kg)





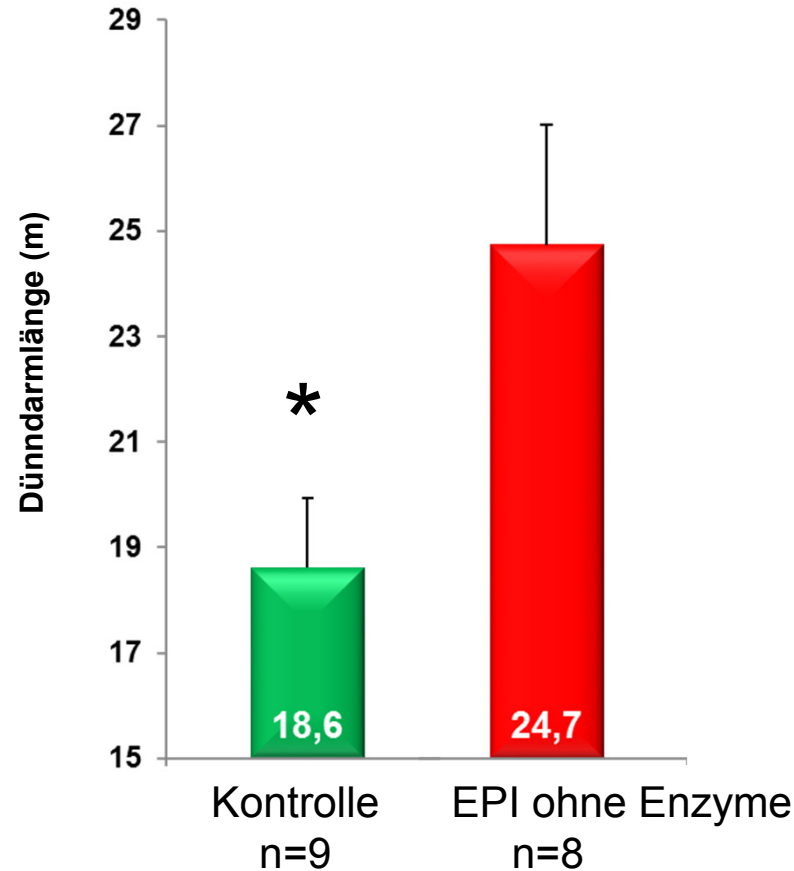
Auswirkungen der EPI auf den Magendarmtrakt juveniler Schweine





Auswirkungen der EPI auf die Dünndarmlänge juveniler Schweine

Mößeler et al. 2015



Zunahme der \emptyset Dünndarmlänge um 6,1 Meter in 10 Wochen

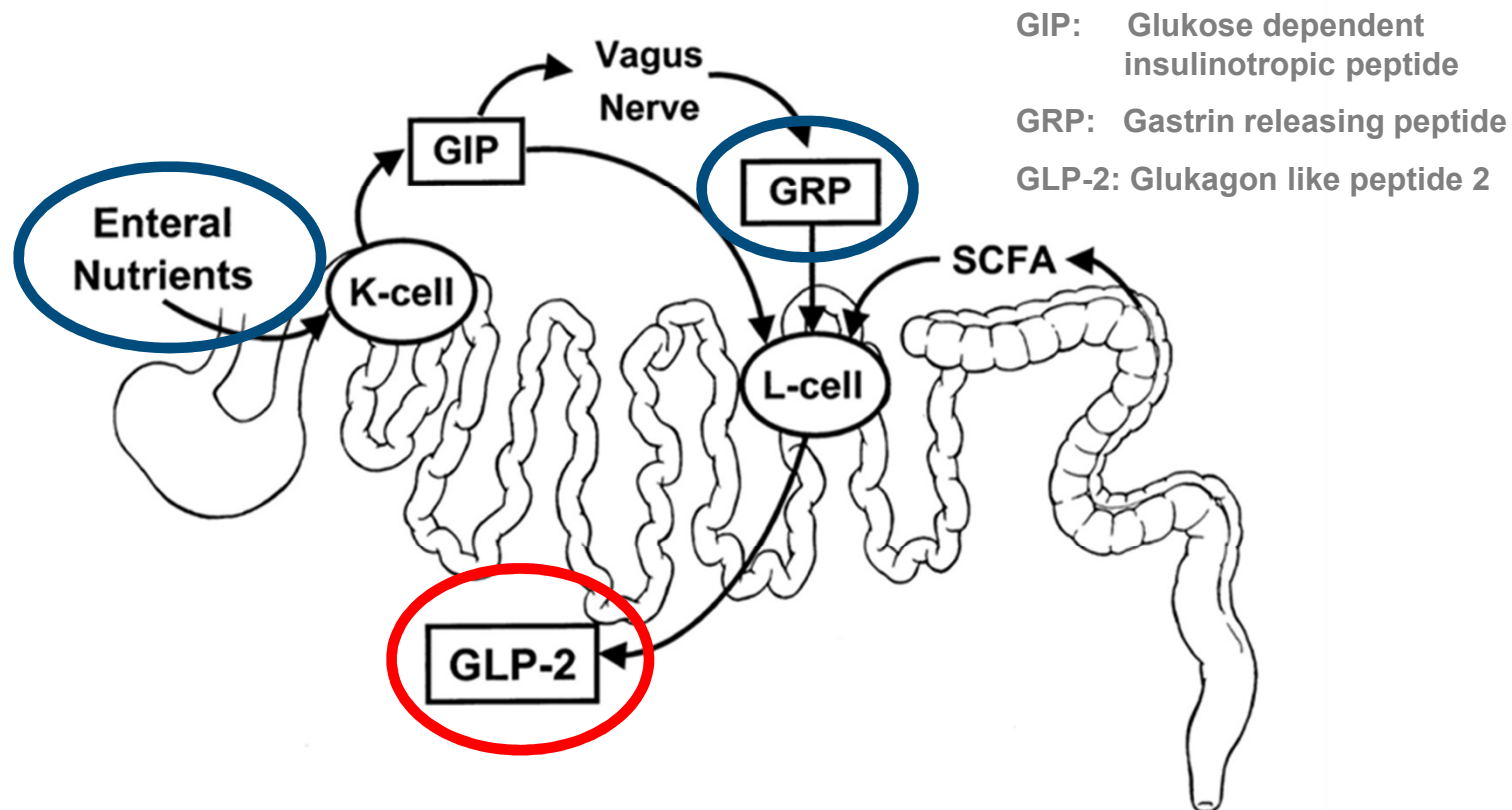
ANOVA, GLM procedure, LSD-test



Effekt der EPI auf gastrointestinale Hormone

GLP 2

- Spezifischer Wachstumsfaktor für den Darm (Baldasso & Amato, 2014)
- GLP 2 Agonist wird zur Behandlung des Kurzdarmsyndroms eingesetzt (Zou et al. 2013)

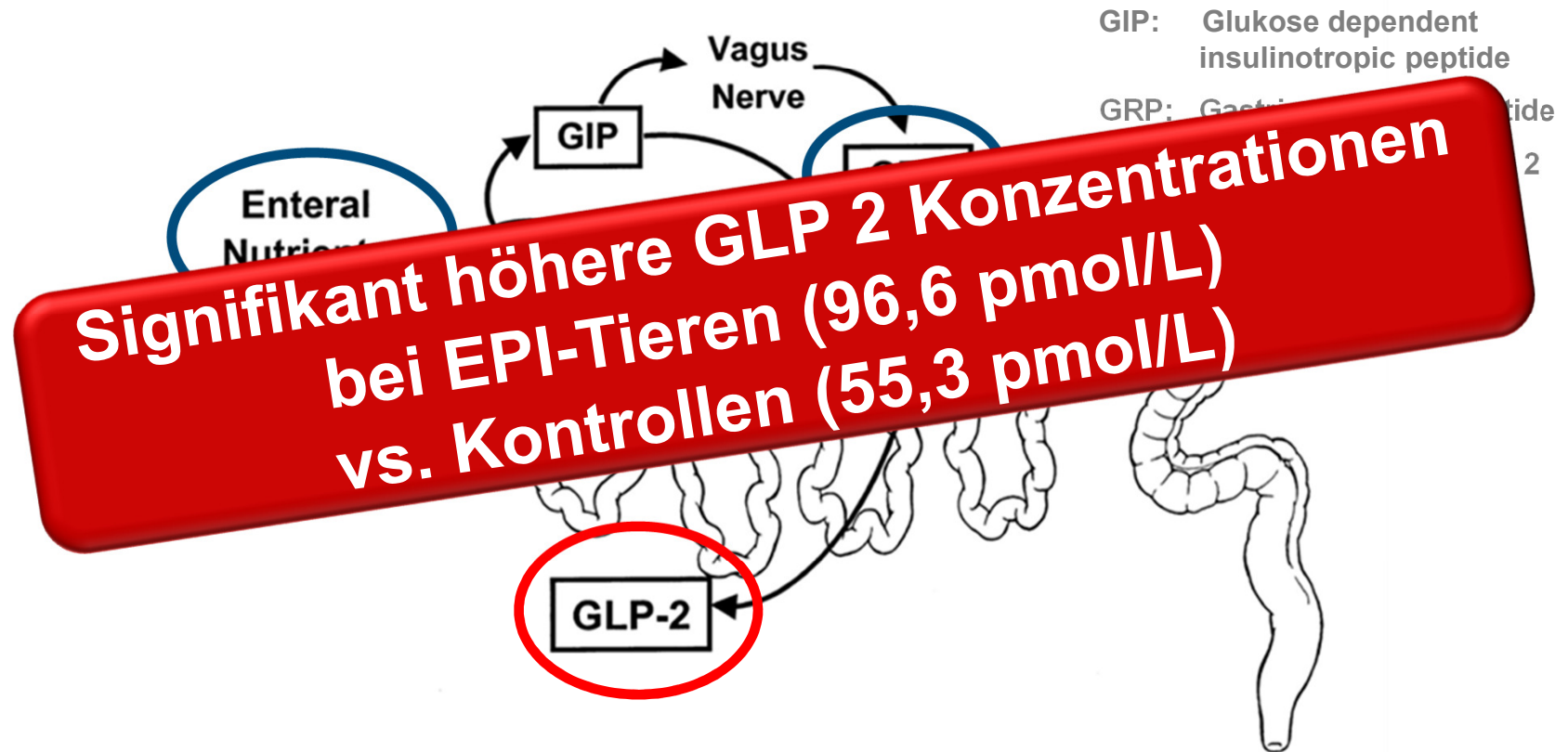




Effekt der EPI auf gastrointestinale Hormone

GLP 2

- Spezifischer Wachstumsfaktor für den Darm (Baldasso & Amato, 2014)
- GLP 2 Agonist wird zur Behandlung des Kurzdarmsyndroms eingesetzt (Zou et al. 2013)



ACCREDITED BY EAEVE/FVE





Verdaulichkeit – der rote Faden in der Tierernährung

Futtermittelgewinnung & -Verarbeitung

z.B. Erntezeitpunkt; Sorten;
Aufschluss, Erhitzung...

Tiergesundheit

z.B. FPD

Leistung

z.B. bedarfsgerechte Fütterung



Lebensmittelsicherheit

z.B. „Salmonellen“

Umwelt

z.B. N, P-Emissionen; Schonung von
Ressourcen; Nachhaltigkeit

Lebensmittelqualität

z.B. „Ebergeruch“





Die Folien der Präsentation, ein Verzeichnis relevanter Literaturquellen sowie einen Beitrag zum Thema „Notwendigkeit der Bestimmung der praecaecalen Verdaulichkeit zur Untersuchung der Effekte der exokrinen Pankreasinsuffizienz auf die Verdauungsprozesse“ finden Sie auf

www.moessler.de/hannover

zum download.





University of
Zurich^{UZH}

Institute of Animal Nutrition



University of Bern | University of Zurich
vetsuisse-faculty



ACCREDITED BY EAEVE/FVE



Take-home message - Fazit

Die Verdaulichkeit zieht sich wie ein „roter Faden“ durch verschiedenste Bereiche der Tierernährung



- **Futtermittelkunde**

- Vegetationsstadium des Aufwuchses
- Antinutritive Faktoren
- Futtermittel-Bearbeitung
-

- **Angewandte Tierernährung**

- verdauliche Energie (2. Stufe des Energie-Bewertungssystems)
- praecaecale Verdaulichkeit von Rohprotein / Aminosäuren beim Monogastrier
- Einsatz von Enzymen zur Steigerung der Verdaulichkeit
 - Phytasen
 - Lipasen, Proteasen, Amylasen
-



Ausführliche Darstellung der Berechnung der
scheinbaren Verdaulichkeit mittels
Markermethode



Wie funktioniert die Berechnung der Verdaulichkeit mit einem Marker ?



Futter

- verdaulicher Nährstoff (21)
- unverdaulicher Marker (7)



Kot

- verdaulicher Nährstoff (7)
- unverdaulicher Marker (7)



$$\begin{array}{l}
 \text{sV (\%)} = 100 - \left[\frac{25 \% \text{ Indikator im Futter}}{50 \% \text{ Indikator im Kot}} \times \frac{50 \% \text{ Nährstoff im Kot}}{75 \% \text{ Nährstoff im Futter}} \right] \times 100 \\
 \text{sV (\%)} = 100 - \left[\frac{1}{2} \times \frac{2}{3} \right] \times 100
 \end{array}$$



Wie funktioniert die Berechnung der Verdaulichkeit mit einem Marker ?



Futter

- verdaulicher Nährstoff (21)
- unverdaulicher Marker (7)



Kot

- verdaulicher Nährstoff (7)
- unverdaulicher Marker (7)

$$sV (\%) = 100 - \left[\frac{25 \% \text{ Indikator im Futter}}{50 \% \text{ Indikator im Kot}} \times \frac{50 \% \text{ Nährstoff im Kot}}{75 \% \text{ Nährstoff im Futter}} \right] \times 100$$

$$sV (\%) = 100 - (0,333 \times 100) = 66,6$$

