

Volumen und Retentionszeit der partikelfreien Flüssigkeit im Dickdarm von wachsenden Schweinen

GERHARD BREVES und DIETER GÄDEKEN

Institut für Tierernährung

Herrn Prof. Dr. H. J. Oslage zum 65. Geburtstag gewidmet

1 Einleitung

Seit einigen Jahren werden in der Schweinefütterung verstärkt agroindustrielle Nebenprodukte als Rationskomponenten eingesetzt. Viele bestehen zu einem hohen Anteil aus Kohlenhydraten, die enzymatisch im Dünndarm nicht abbaubar sind, sondern mikrobiell fermentiert werden müssen. Bei monogastrischen Tieren ist der Dickdarm Hauptort für die mikrobielle Fermentation, und die flüchtigen Fettsäuren Acetat, Propionat und Butyrat (VFA) sind die quantitativ überwiegenden Endprodukte dieser Abbauvorgänge. Die über die Dickdarmmucosa resorbierten VFA werden energetisch genutzt. Nach bisherigen Untersuchungen können damit bis zu 30 % des Erhaltungsbedarfs gedeckt werden (F r i e n d et al., 1963; I m o t o und N a m i o k a , 1978; K a s s et al., 1980; R é r a t et al., 1987). Die Bedeutung der Dickdarmfermentation für den intermediären Stoffwechsel ist im Energiebewertungssystem für Schweine (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) berücksichtigt, da in die Berechnung der umsetzbaren Energie der Gehalt an bakteriell fermentierbarer Substanz (BFS) eingeht. Der BFS-Gehalt ergibt sich aus der Summe der verdaulichen Rohfaser und N-freien Extraktstoffe abzüglich des Stärke- und Zuckergehaltes.

Ebenso wie in den Vormägen der Wiederkäuer beeinflussen die Umsetzungen der flüssigen und partikulären Phase des Dickdarminhaltes die mikrobiellen Stoffwechsellvorgänge. Für den Digestafluß in den Dickdarm sind vor allem der Umfang der Flüssigkeitssekretion und -resorption im Dünndarm und diätische Faktoren wie z.B. der Gehalt an BFS bestimmend.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen bestand darin, im Rahmen von Messungen zur Produktionsrate von VFA im Dickdarm die Eignung von CrEDTA als Flüssigkeitsmarker zur Bestimmung von Volumen und Retentionszeit der partikelfreien Flüssigkeit im Caecum/Colonbereich wachsender Schweine zu prüfen und den Einfluß unterschiedlicher Rohfasergehalte in der Diät zu erfassen.

2 Material und Methoden

Für die Untersuchungen standen 5 männliche kastrierte Schweine zur Verfügung, denen je eine T-Kanüle in das Caecum ca. 5 cm distal der Ileocaecalklappe implantiert worden war. Während der Versuchsperiode nahm das Körpergewicht der Tiere von 75 kg bis 105 kg zu. Die Versuche wurden unter 2 unterschiedlichen Fütterungsbedingungen durchgeführt, wobei der Gehalt an Rohfaser, Stärke, ADF (acid detergent fibre) und BFS durch Zulage von Cellulose zu Lasten des Getreideanteils verändert wurde (Tabelle 1).

Tabelle 1: Nährstoffgehalt der Rationen (in % der Trockensubstanz)

Ration	1	2
Organische Substanz	94,7	95,1
Rohprotein	18,3	18,6
Rohfett	3,6	3,3
Rohfaser	18,3	5,1
Stärke	33,6	50,6
Zucker	3,6	3,3
ADF	22,3	6,5
BFS (g * kg ⁻¹)	155,0	60,0
ME (MJ * kg ⁻¹)	13,0	14,2

Um eine gleiche Energieaufnahme zu gewährleisten, erhielten die Tiere täglich 2400 g der Ration 1 bzw. 2200 g der Ration 2. Die Gesamtfuttermenge wurde auf 5 Einzelportionen verteilt (5⁰⁰, 8⁰⁰, 11⁰⁰, 14⁰⁰, 17⁰⁰). Für jede Ration dienten 2 - 3 Wochen zur Futteradaptation. Je Tier und Ration wurden 2 Versuche im Abstand von einer Woche durchgeführt.

Zu Versuchsbeginn erhielt jedes Tier 4 Stunden nach der ersten Morgenfütterung eine Einmalinjektion von 250 mg Cr als CrEDTA in das Caecum. Nach 1,5 Stunden nach Markerapplikation wurden in stündlichen Intervallen 9 Proben über die Caecumkanüle entnommen. Nach der Messung der pH-Werte wurden die Proben gazefiltriert, zentrifugiert (40000 g, 30 Min, 4° C) und die partikelfreien Flüssigkeiten bis zur Analytik bei -18° C gelagert. In parallel entnommenen Aliquots wurden mittels Gefriertrocknung die Trockensubstanzgehalte des Caecuminhaltes bestimmt.

Die Messung der Cr-Konzentrationen in den partikelfreien Flüssigkeiten erfolgte atomabsorptionsspektrometrisch in einer Luft-Azetylenflamme (Fa. Perkin-Elmer, Typ 400, Überlingen). Eine Eichkurve diente zur Berechnung der Cr-Konzentrationen in den Proben. Zur Berechnung der Flüssigkeitsumsetzungen wurde die Abnahme der Cr-Konzentrationen in Abhängigkeit von der Zeit an monoexponentielle Ausscheidungsfunktionen ($A(t) = A_0 \cdot e^{-kt}$) approximiert. Das Volumen und die mittlere Verweilzeit der partikelfreien Flüssigkeit errechnete sich aus den einzelnen Regressionen unter Berücksichtigung der injizierten Markermenge (B r e v e s et al., 1985).

3 Ergebnisse und Diskussion

Unter beiden Fütterungsbedingungen wiesen die pH-Werte und die Trockensubstanzgehalte im Caecuminhalt innerhalb

der Einzeltiere nur geringfügige tageszeitliche Variationskoeffizienten zwischen 3 % und 8 % auf. Die Trockensubstanzgehalte lagen in einem Bereich zwischen 12 % und 18 %, und für die pH-Werte ergaben sich Werte zwischen 5,8 und 6,5 (Ta-

Tabelle 2: Trockensubstanzgehalte (%) im Caecuminhalt $\bar{x} \pm s$

Tier	Ration 1	Ration 2
1	15,3 ± 0,5	13,0 ± 0,6
2	17,7 ± 0,6	14,7 ± 0,3
3	15,6 ± 0,3	13,0 ± 0,4
4	15,5 ± 1,1	12,8 ± 0,3
5	14,7 ± 0,7	12,4 ± 0,6
$\bar{x} \pm s$	15,8 ± 1,1	13,2 ± 0,9

Tabelle 3: pH- Werte im Caecuminhalt; $\bar{x} \pm s$

Tier	Versuch	Ration 1	Ration 2
1	1	5,79 ± 0,28	5,99 ± 0,39
	2	5,79 ± 0,15	6,12 ± 0,38
2	1	6,26 ± 0,34	5,80 ± 0,28
	2	6,00 ± 0,18	5,85 ± 0,43
3	1	6,01 ± 0,36	6,18 ± 0,40
	2	6,26 ± 0,21	6,21 ± 0,29
4	1	6,00 ± 0,22	5,97 ± 0,45
	2	6,43 ± 0,29	6,24 ± 0,26
5	1	6,45 ± 0,18	6,13 ± 0,24
	2	6,58 ± 0,32	6,05 ± 0,39
$\bar{x} \pm s$		6,16 ± 0,28	6,05 ± 0,15

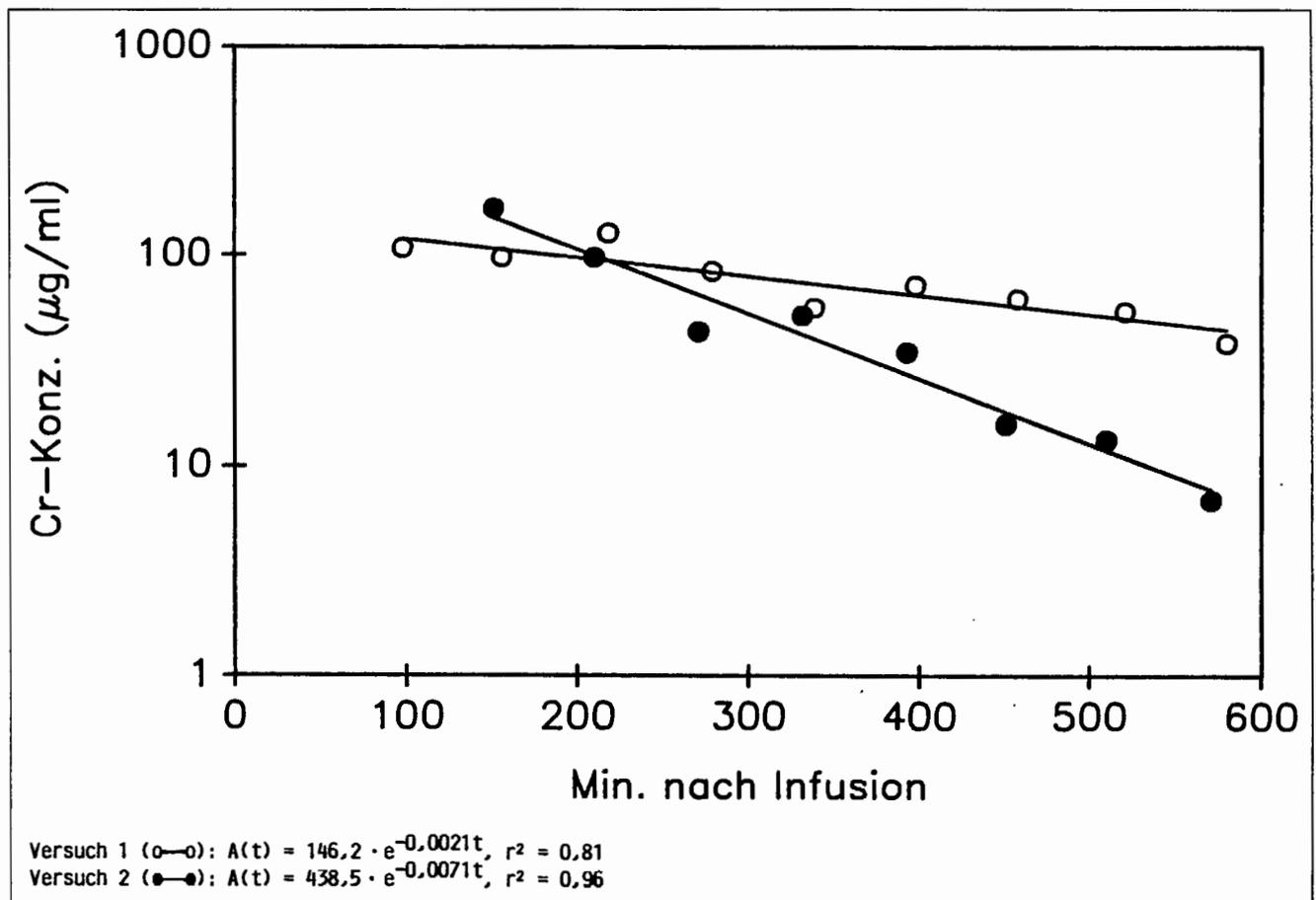
belln 2 und 3). Der höhere Rohfasergehalt der Ration 1 führte jedoch im Mittel zu einem um 2,6 % höheren Trockensubstanzgehalt im Caecuminhalt, was die geringere enzymatische Abbaubarkeit dieser Ration im Dünndarm reflektiert. Dieser Unterschied zwischen beiden Rationen war mit $p < 0,001$ statistisch hoch gesichert. Gegenüber dem Ileuminhalt sind die für beide Rationen im Caecum gemessenen Werte deutlich höher. So wiesen Low et al. (1978) für den Ileuminhalt Trockensubstanzgehalte von ca. 8 - 10 % nach. Diese Unterschiede sind vor allem auf eine erhöhte Flüssigkeitsnettoresorption im Dickdarm zurückzuführen.

Tabelle 4: Volumen (l) und mittlere Retentionszeit (h) der partikelfreien Flüssigkeit; $\bar{x} \pm s$

Tier	Versuch	Ration 1		Ration 2	
		Volumen	mittl.Ret.-zeit	Volumen	mittl.Ret.-zeit
1	1	1,74	7,9	0,87	2,2
	2	0,58	2,4	1,85	5,8
2	1	1,15	5,1	-	-
	2	0,84	6,4	0,24	2,6
3	1	-	-	0,37	4,8
	2	0,85	3,8	1,23	2,4
4	1	0,42	2,6	0,34	1,8
	2	0,47	2,3	0,20	2,4
5	1	1,49	3,5	0,54	2,1
	2	2,15	4,4	0,24	1,5
\bar{x} *)		1,05	4,2	0,61	2,8
$\pm s$		± 0,50	± 1,3	± 0,47	± 0,9

*) Die Berechnung des Gruppenmittels erfolgte aus den Mittelwerten der Einzeltiere

Abbildung 1: Verlauf der Cr-Konzentrationen in der partikelfreien Caecumflüssigkeit; Tier 1, Ration 1



Für die pH-Werte ergaben sich zwischen den beiden Rationen keine statistisch gesicherten Unterschiede. Tendenziell waren jedoch bis auf das Tier Nr. 1 die mittleren pH-Werte bei Fütterung der rohfaserreichen Diät höher, obwohl die Fettsäureproduktion im Dickdarm etwa doppelt so hoch war im Vergleich zur Ration 2 (Breves, unveröffentlicht). Dieser Widerspruch erklärt sich vermutlich aus den an der Fettsäurereabsorption beteiligten Mechanismen. Wenn bei Fütterung der cellulosereichen Diät infolge der erhöhten Fettsäureproduktion auch eine Zunahme der Fettsäurereabsorption angenommen wird, so würde dies über eine vermehrte luminale Bicarbonatakkumulation zu einem Anstieg des pH-Wertes führen (Bugaut, 1987).

Unter beiden Fütterungsbedingungen ergab sich in je einem Versuch für die aus den Cr-Konzentrationen approximierten Funktionen mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,29$ bzw. $0,34$ eine nicht ausreichende Güte in der Kurvenanpassung. Diese beiden Versuche wurden daher nicht weiter berücksichtigt. In allen übrigen Versuchen lagen die Bestimmtheitsmaße zwischen $0,67$ und $0,98$. Damit konnten die gemessenen Abnahmen der Cr-Konzentrationen mit ausreichender Genauigkeit an monoexponentielle Ausscheidungsfunktionen approximiert werden. Dies unterstreicht, daß unter den hier gewählten Versuchsbedingungen zumindest während der 9,5-stündigen Meßperiode Gleichgewichtsbedingungen im Digestafluß vorgelegen haben. Dies ist Grundlage für die Anwendbarkeit der Methode der Einmalinjektion eines Volumenmarkers. Neben den pH-Werten und den Trockensubstanzgehalten (Tabellen 2 und 3) sind auch für die Konzentrationen von

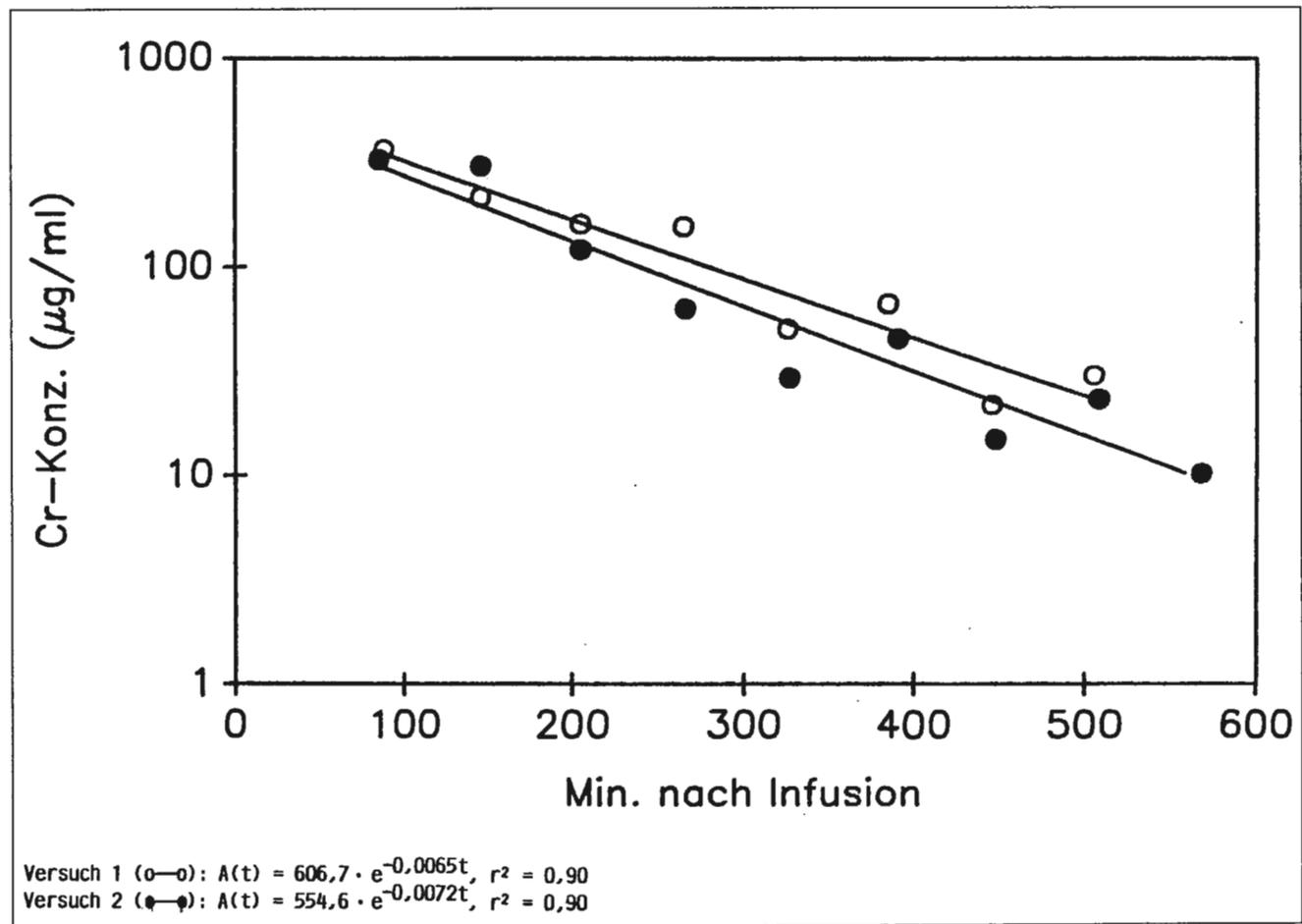
flüchtigen Fettsäuren und Gesamtammoniak nur geringe tageseitliche Schwankungen bestimmt worden, was die Annahme von Gleichgewichtsbedingungen rechtfertigt (Breves, unveröffentlicht).

Bei den unter identischen Bedingungen im Abstand von einer Woche durchgeführten Wiederholungsversuchen ergaben sich teilweise enge Übereinstimmungen, bei einzelnen Tieren aber auch deutliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Cr-Konzentrationen. Dies wird beispielhaft für die Tiere 1 und 4 bei Fütterung der Ration 1 in Abbildung 1 und 2 dargestellt. Diese Unterschiede führen zu entsprechenden Veränderungen im Volumen und der mittleren Retentionszeit (Tabelle 4). Ihre möglichen Ursachen können aus den vorliegenden Untersuchungen nicht geklärt werden. Möglicherweise reflektieren sie physiologische Unterschiede, die durch Änderungen der Flüssigkeitsnettoresorption aus dem Dünndarm und einem daher unterschiedlichen Digestafluß in den Dickdarm bedingt werden.

Das Flüssigkeitsvolumen und die Retentionszeit waren bei Fütterung der rohfaserreichen Ration im Mittel um ca. 70 % bzw. 50 % höher als bei Fütterung der rohfaserarmen Diät (Tabelle 4). Diese Unterschiede ließen sich jedoch infolge der hohen Varianz zwischen den Tieren statistisch nicht absichern.

Zum Vergleich liegen aus der Literatur nur wenige Daten vor. Farrell und Johnson (1970) bestimmten mit Hilfe von $^{51}\text{Cr-EDTA}$ in einem Gewichtsbereich zwischen 30 kg und

Abbildung 2: Verlauf der Cr-Konzentrationen in der partikelfreien Caecumflüssigkeit; Tier 4, Ration 1



45 kg bei unterschiedlichem Cellulosegehalt in der Diät ein Flüssigkeitsvolumen von 0,15 l (8 % Cellulose) bzw. 0,26 l (26 %). Je kg Körpergewicht liegen diese Werte um ca. 40 % unter denen der vorliegenden Untersuchungen. Kenelly et al. (1981) geben für Schweine im Gewicht zwischen 40 kg und 50 kg ein Volumen zwischen 0,45 l und 0,90 l an. Beiden Arbeiten sind jedoch keine Angaben zu den Retentionszeiten zu entnehmen.

Alle Volumenangaben können keinem anatomisch eindeutig definierten Verteilungsraum zugeordnet werden, da zwischen Caecum und Colon keine deutliche anatomische Grenze vorhanden ist. Wird die relativ geringe Größe des Caecums beim Schwein berücksichtigt, können das Caecum und ein variabler Anteil des proximalen Colons als primärer Verteilungsraum für den Flüssigkeitsmarker angenommen werden.

4 Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchungen war es, im Rahmen von in vivo-Messungen zur Produktionsrate von VFA im Dickdarm die Einmalinjektion von CrEDTA als Meßmethode für Volumen und Retentionszeit der partikelfreien Flüssigkeit im Caecum/Colonbereich von wachsenden Schweinen zu prüfen und Einflüsse des Rohfasergehaltes auf beide Parameter zu untersuchen. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen lagen Gleichgewichtsbedingungen vor und die Einmalinjektion erwies sich als geeignete Methode. Bei hohem Rohfasergehalt wurden im Mittel ein Volumen und eine Retentionszeit von $1,05 \pm 0,50$ l bzw. $4,2 \pm 1,3$ h gegenüber $0,61 \pm 0,47$ l und $2,8 \pm 0,9$ h bei niedrigem Rohfasergehalt bestimmt. Diese Unterschiede konnten infolge der hohen Varianz statistisch nicht abgesichert werden.

Volumes and mean retention times of caecal fluids in growing pigs as affected by the crude fibre content of the diet

Five male castrated pigs weighing between 75 kg and 105 kg were adapted to two experimental diets with different contents of bacterial fermentable substances. Each animal was equipped with a T-shaped caecal cannula and they were fed five times daily. Under each dietary regimen two experiments were performed in each animal to apply Cr-EDTA as a marker to study the volume and the mean retention time of particle-free caecal fluid. CrEDTA was given intracaecally as a single injection 4 h after the first morning feed. 1.5 h were allowed for marker distribution and 9 caecal samples were then taken at hourly intervals. Atomic absorption spectrometry was applied to measure the Cr concentrations and the concentration changes were approximated to monoexponential functions.

During the experimental period steady state conditions were maintained and significant regressions were obtained thus indicating the suitability of the single injection technique. When the crude fibre content increased from 5.1 to 18.3 % of dry matter mean volumes and retention times increased from 0.61 ± 0.47 l to 1.05 ± 0.50 l and from 2.8 ± 0.9 h to 4.2 ± 1.3 h respectively. Since substantial variations occurred within and between individual animals no significant differences were obtained between the two diets.

Literatur

- Breves, G., Beyerbach, M., Höller, H., Lessmann, H.W.: Flüssigkeitsumsetzungen im Pansen von Schafen bei niedriger und ausreichender Phosphorversorgung. - Dtsch. tierärztl. Wochenschr. 92 (1985), S. 47-49.
- Bugaut, M.: Occurrence, absorption and metabolism of short chain fatty acids in the digestive tract of mammals. - Comp. Biochem. Physiol. 86 B (1987), S. 439-472.
- Farrell, D.J., Johnson, K.A.: Utilization of cellulose by pigs and its effects on caecal functions. Anim. Prod. 14 (1970), S. 209-217.
- Friend, D.W., Cunningham, H.M., Nickolson, J.W.G.: The production of organic acids in the pig. II. The effect of diet on the levels of volatile fatty acids and lactic acid in sections of the alimentary tract. - Can. J. Anim. Sci. 43 (1963), S. 156-168.
- Imoto, S., Namioaka, S.: VFA production in the pig large intestine. - J. Anim. Sci. 47 (1978), S. 467-478.
- Kass, Maria L., van Soest, P.J., Pond, W.G.: Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. II. Volatile fatty acid concentrations in and disappearance from the gastrointestinal tract. - J. Anim. Sci. 50 (1980), S. 192-197.
- Kennelly, J.J., Aherne, F.X., Sauer, W.C.: Volatile fatty acid production in the hindgut of swine. - Can. J. Anim. Sci. 61 (1981), S. 349-361.
- Low, A.G., Partridge, I.G., Sambrook, I.E.: Studies on digestion and absorption in the intestines of growing pigs. 2. Measurements of the flow of dry matter, ash and water. - Br. J. Nutr. 39 (1978), S. 515-526.
- Rérat, A., Fiszlewicz, Michéle, Giusi, Alessandra, Vaugelade, P.: Influence of meal frequency on postprandial variations in the production and absorption of volatile fatty acids in the digestive tract of conscious pigs. - J. Anim. Sci. 64 (1987), S. 448-456.
- Verfasser: Breves, Gerhard, Priv. Doz. Dr. vet. med.; Gädden, Dieter, Dr. agr., Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), komm. Leiter: Prof. Dr. sc. agr. Ernst Zimmer.