

# Organische Säuren und pH-Wert im Jejunal- und Ilealchymus des Pferdes in Abhängigkeit von der Fütterung

H. Meyer und E. Landes

Institut für Tierernährung, Tierärztliche Hochschule Hannover

Der Dünndarmchymus des Pferdes ist von zahlreichen Keimen besiedelt. Im Anfangsteil werden bis zu  $10^6$ , im Endteil bis  $10^8$  Keime pro ml beobachtet (Kern et al. 1974, Mackie und Wilkins 1988, Kropp 1991, Kollarzik et al. 1992). Die Folgen überhöhter mikrobieller Aktivität in diesem Darmbereich (verstärkte Gas-, Säuren-, Toxinbildung) sind insbesondere im Zusammenhang mit der Pathogenese von Koliken bisher nur schwer abzuschätzen. Eine indirekte in vivo-Methode (Wasserstoffexhalation), die Informationen über den Einfluß von Art und Menge des Futters auf die  $H_2$ -Bildung im Dünndarm liefert, wurde von Zentek et al. (1992) vorgestellt. Angaben über die Gehalte an mikrobiell gebildeten organischen Säuren (flüchtige Fettsäuren, Milchsäure) stammen bisher ausschließlich von post-mortem-Untersuchungen (Alexander und Davies 1963, Argenzio et al. 1974, Kern et al. 1974, Wolter und Chaabouni 1979, Eilmans 1991), die nur begrenzte Aussagen insbesondere über postprandiale Verläufe sowie über die wichtigsten Variationsursachen erlauben.

Im Rahmen früherer Untersuchungen über die präileale Verdaulichkeit verschiedener stärkereicher Futtermittel (Radicke 1990, Landes 1992, Wilke 1992, Kleffken 1993, Illenseer 1994, Rottmann 1994) wurden bei fistulierten Pferden auch die Gehalte der flüchtigen Fettsäuren und z. T. Laktat sowie der Verlauf der pH-Werte im Jejunalchymus bestimmt.

## Material und Methoden

Für die Untersuchung standen insgesamt 7 am Jejunumende fistulierte Pferde (Gerhards et al. 1991) sowie 2 Pferde mit Caecumfisteln (Huskamp et al. 1982) zur Verfügung. Bei den dünndarmfistulierten Tieren wurde der spontan abfließende Chymus jeweils für 15 Minuten von der 1. bis

## Zusammenfassung

Bei insgesamt 9 fistulierten Pferden wurde der Jejunal- bzw. Ilealchymus nach Fütterung verschiedener stärkereicher Rationen (Hafer, Maiskörner, -silage, -kolbenschrotsilage, Gerste, Kartoffeln, Maniok; Tab. 1) gesammelt und der postprandiale Verlauf der pH-Werte sowie der Gehalt an Laktat und flüchtigen Fettsäuren bestimmt; außerdem wurde die in-vitro-Gasbildung während 6stündiger Inkubation gemessen.

Der postprandiale pH-Wert im Jejunalchymus variierte nach Heufütterung, stärkearmen Rationen (Maissilage) sowie bei Futtermitteln mit schwer abbaubaren Kohlenhydraten (Maiskörner, Kartoffeln) nur in geringem Bereich (7,5–8), während nach moderater Stärkeaufnahme über Hafer bzw. Gerste (2 g Stärke/kg KM) der pH-Wert in der 5.–7. Std. ppr. auf 7 bzw. 6,5 abfiel und nach hoher Stärkegabe (4 g/kg KM) bis auf 6,1 zurückging (Abb. 1).

Die Laktatgehalte erreichten in der 5. bis 6. Std. ppr. ein Maximum (Abb. 2) und lagen bei den Rationen mit hohen Mengen an leicht abbaubarer Stärke überwiegend zwischen 20–30 mmol/l, bei den übrigen Rationen bei 10 mmol/l (Tab. 3). Zwischen Laktatgehalt und pH-Wert bestand eine straffe Beziehung ( $r = -0,88^{***}$ ; Abb. 3), während die flüchtigen Fettsäuren nur einen geringen Einfluß auf den pH-Wert ausübten.

Die Konzentration flüchtiger Fettsäuren stand in keiner eindeutigen Beziehung zum Stärketypp bzw. pH-Wert des Chymus. Von den flüchtigen Fettsäuren entfielen rd. 60% auf Essigsäure, 30% auf Propionsäure und 5–7% auf Buttersäure. Pro ml Chymus wurde während einer Inkubation von 6 Stunden etwa 1,2 ml Gas mit der Tendenz zu hohen Werten bei Mais- und Haferrationen (Tab. 5) gebildet.

Die mikrobiellen Umsetzungen im Magen-Dünndarmbereich können im Zusammenhang mit bestimmten kohlenhydratreichen Futtermitteln und fehlerhafter Fütterungstechnik für die Pathogenese von Verdauungsstörungen Bedeutung haben.

**Schlüsselwörter:** Pferd, stärkereiche Fütterung, Jejunumfistel, Dünndarmchymus, pH-Wert, Laktat, flüchtige Fettsäuren, in-vitro-Gasbildung

## Feed and feeding effects on organic acids and pH values in the chyme of the small intestine in horses

In 9 horses fitted with permanent fistulas the chyme of the jejunum or ileum was collected after feeding different rations with high amounts of starch (oats, corn, cornsilage, corn cob mix, barley, potato, manioc, tab. 1) and the postprandial course of pH values, concentrations of lactate and volatile fatty acids were measured. Furthermore after incubation of 6 hours the in-vitro gas production of the chyme was estimated.

Postprandially the pH of the jejunal chyme only varies a little after feeding hay, rations with small amounts of starch (cornsilage) and in feed containing low digestible carbohydrates. After moderate intake of starch with oats or barley (2 g starch/kg bw) the pH decreased in the 5.–7. h ppr. to 7 and 6,5, respectively, and high intake of starch (4 g/kg bw) led to pH of 6,1 (fig. 1).

Maximum concentrations of lactate (fig. 2) were reached at 5.–6. h ppr. and they were between 20–30 mmol/l in easily digestible starch, in the other rations at 10 mmol/l (tab. 3). Between lactate and pH a significant negativ correlation existed ( $r = -0,88^{***}$ ), while the volatile fatty acids only had little effect on the pH of the chyme. The concentration of volatile fatty acids was not specifically related to the type of ration or the pH of the chyme. From the volatile fatty acids about 60% were acetate, 30% propionate and 5–7% butyrate.

After incubation of the chyme for 6 hours 1.2 ml gas per ml chyme was produced with tendentially higher values in rations with corn or oats (tab. 5).

zur 11. Stunde postprandial (ppr.) nach der Morgenmahlzeit aufgefangen. Ilealchymus konnte per Sonde über Blinddarmfisteln gewonnen werden. Zusätzlich wurden in-vitro-Untersuchungen am inkubierten Chymus durchgeführt.

Die Pferde erhielten die in Tabelle 1 aufgeführten Rationen bei der Morgenfütterung, die jeweils 12 Stunden nach der Abendfütterung erfolgte. Für die Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Futterrationen auf die Parameter im Jejunalchymus standen 4 bis 5, im Ilealchymus 2 Pferde für je 2–5 Tage zur Verfügung.

Die pH-Wert-Messung erfolgte sofort nach der Entnahme (pH-Meter mit Einstabmeßkette); für die Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren wurde nach Zentrifugation (10 Min.) der Überstand gewonnen, mit konz. Ameisensäure und 4-Methylvaleriansäure (innerer Standard) versetzt und bis zur Analyse bei  $-20^{\circ}\text{C}$  eingefroren. Die Messung der Gehalte erfolgte mit einem Gaschromatographen (Gerät GC 14 A, Shimazu). Zur Laktatbestimmung wurde der Überstand mit 0,6 n Perchlorsäure enteiweißt, zentrifugiert und bis

Microbial fermentation in the stomach or small intestine in combination with high carbohydrate concentrates and incorrect feeding regime were discussed with the pathogenesis of digestible disorders.

**keywords:** horse, concentrate, small intestine, fistula, chyme, pH, lactate, volatile fatty acids, gas production in vitro

zur Analyse bei  $-20^{\circ}\text{C}$  aufbewahrt. Der Nachweis von D- und L-Laktat erfolgte enzymatisch mit Hilfe eines Photometers (Bildung von NADH und Messung bei 340 nm). Für die in-vitro-Untersuchungen zur Gasbildung wurde unverdünnter frischer Chymus im Kolbenprober unter anaeroben Bedingungen unter ständiger Rotation bei  $37^{\circ}\text{C}$  jeweils für 6 Std. ohne Zusätze inkubiert. Um den Einfluß der Milchsäure auf den pH-Wert im Chymus zu überprüfen, wurden zu 8 verschiedenen Chymusproben steigende Mengen an L-Milchsäure (0, 10, 20, 40 mmol/l) zugesetzt

**Tab. 1:** Eingesetzte Rationen; Aufnahme g pro kg KM (Körpermasse)/Morgenmahlzeit

Formulation of diets, intake in g/kg bodyweight (bw) per morning meal

Ration-Nr.	Hauptkomponente	aufgenommene Menge der stärkehaltigen Futtermittel	Stärke	Grünmehl	Heu
			g/kg KM		
1	Hafer, heil u. gequetscht	(5,4)	1,9	–	–
2	Hafer, pelletiert <sup>1) 2)</sup>	(5,3–10,5)	2,2–4,0	–	1,1
3	Hafer, heil	(10,2)	3,9	1,5	–
4	Hafer, heil	(5,1)	1,9	–	5,0
5	Gerste, gequetscht	(4,0)	2,0	4,8	–
6	Mais, heil u. gebrochen	(3,3)	2,1	–	–
7	Mais, pelletiert <sup>1) 2)</sup>	(4,3–8,5)	1,8–4,0	–	1,1
8	Mais, geschrotet	(3,1)	2,2	4,9	–
9	Mais, geschrotet + Amylase <sup>3)</sup>	(3,1)	2,1	4,6	–
10	Mais, geschrotet + Heu	(2,7)	1,9	–	3,9
11	Mais, gepoppt	(2,1)	1,4	4,9	–
12	Maissilage	(11,6)	1,0	–	–
13	Maiskolbensilage	(6,2)	1,9	–	1,0
14	Kartoffeln	(9,2)	2,0	5,0	–
15	Maniok	(3,2)	2,0	5,0	–
16	Heu <sup>2)</sup>	–	–	–	7,5

<sup>1)</sup> mit 10% Leinschrot

<sup>2)</sup> Ilealchymus

<sup>3)</sup>  $\alpha$ - Amylase-HT, 50 g/kg KM

und pH-Wert sowie L-Laktat bestimmt. Die Bestimmung der Pufferkapazität im Chymus erfolgte durch Titration mit 0,25 m Salzsäure auf pH 4.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse umfaßte die Standardabweichung als Maß für die Streuung, Korrelations- und Regressionsberechnungen zur Darstellung von Beziehungen und Abhängigkeiten und den t-Test nach Student zur Beurteilung von Mittelwertsdifferenzen. Die Signifikanzstufen wurden ab  $p < 0,05$  festgelegt.

**Ergebnisse**

*pH-Werte im Chymus*

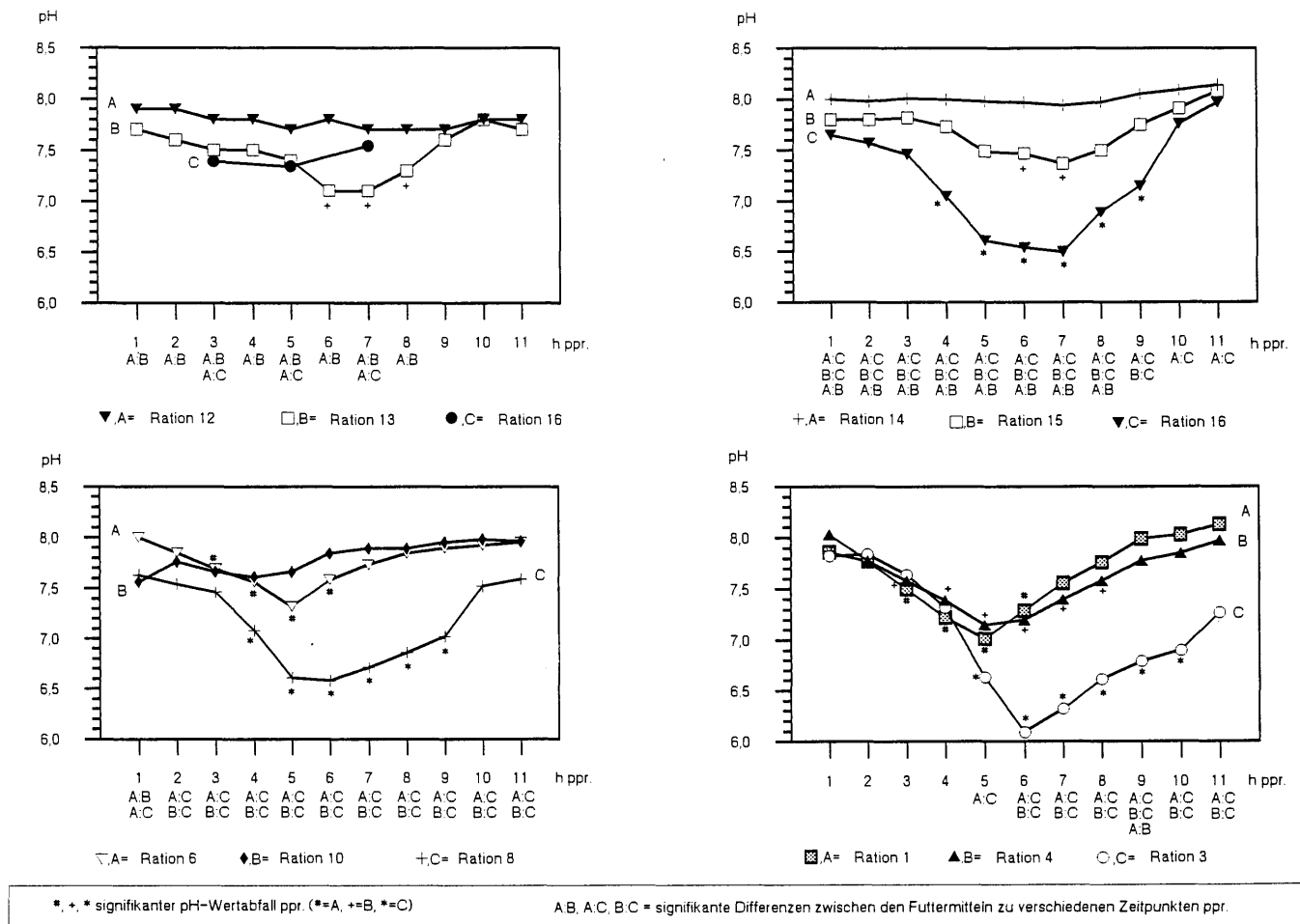
Die postprandialen Verläufe der pH-Werte bei den verschiedenen Rationen sind in Abbildung 1 beispielhaft zusammengestellt. In nahezu allen Fällen fiel der pH-Wert postprandial ab mit Tiefstwerten in der 5. Std. und stieg anschließend wieder an. Nur nach Fütterung von Maissilage (12), Heu (16), Kartoffeln (14) sowie Mais und Heu (10) bestand diese Tendenz nicht. Die pH-Werte blieben

außer bei Heugabe auf einem ausgesprochen hohen Niveau von rd. 8. Eine moderate Reduktion des pH-Wertes bis auf 7,5 war nach Maiskolbensilage (13), Maniok (15) und Mais, heil oder gebrochen (6), festzustellen. Ausgeprägtere Rückgänge bis auf pH 7 fielen nach Fütterung von Hafer in geringer Dosierung (1) sowie in Kombination mit Heu (4) auf, während nach Fütterung von Gerste und fein geschrotetem Mais die Werte pH 6,5 erreichten. Extrem tiefe Werte, z. T. bis unter 5,5, traten schließlich nach Fütterung von Hafer in großer Menge (3) auf.

*Laktatgehalte im Chymus*

Untersuchungen über den postprandialen Verlauf der Laktatwerte bei den Rationen 1 und 6 (Abb. 2) zeigten, daß es nach der Fütterung zu einem Anstieg bis zur 5. bzw. 6. Std. kam und anschließend zu einem m.o.w. raschen Abfall, so daß die Ausgangswerte in der 9. Std. ppr. etwa wieder erreicht wurden.

Für die übrigen Rationen sind in Tabelle 2 nur die Gehalte in der 5. Std. ppr. aufgeführt. Zwischen den Rationen bestanden z. T. signifikante Unterschiede. Nach Hafer (1-4),



**Abb.1:** Postprandiale Verläufe des pH-Wertes im Jejunalchymus nach Einsatz verschiedener Futterrationen.

pH values in the jejunal chyme after different rations

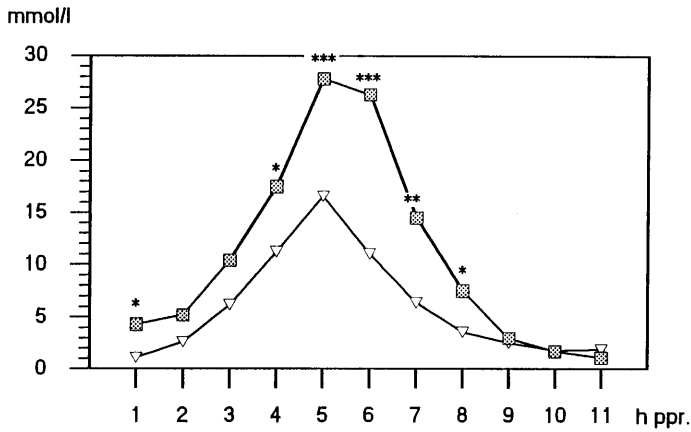


Abb. 2: Postprandialer Verlauf der Laktatkonzentrationen (mmol/l) in Abhängigkeit von der Stärkeart:  
 ■ = Hafer (1); ▼ = Mais (6)  
 lactate (mmol/l) after feeding in relation to type of starch  
 ■ = oats (1); ▼ = corn (6)

insbesondere nach hoher Dosierung, aber auch nach Gerste (5) sowie Mais (stark zerkleinert oder pelletiert (7/8)) fanden sich signifikant höhere Konzentrationen (im Einzelfall über 50 bis 70 mmol/l) als nach Heu- (16), Kartoffel- oder

Maniok (14, 15)-Fütterung. Aber auch zwischen verschiedenen Maiszubereitungen lagen z. T. signifikante Unterschiede vor (z. B. Ration 7 und 8 gegenüber 6, 9 und 10).

#### Flüchtige Fettsäuren im Chymus

Der postprandiale Verlauf der Konzentrationen flüchtiger Fettsäuren wurde nur bei den Rationen 2, 3, 5 und 7 bis 10 in der 3., 5. und 7. Std. ppr. geprüft. Dabei waren keine systematischen Veränderungen zu erkennen, so daß bei den übrigen Rationen die Werte nur in der 5. Std. ppr. bestimmt wurden (Tab. 3). Die Gehalte im Ilealchymus (Rationen 2 und 7) waren signifikant höher als im Jejunalchymus. Dort variierten die Werte zwischen 2 und 27 mmol/l und ließen keine systematischen Unterschiede in Abhängigkeit von der Futterart erkennen, wenngleich zwischen verschiedenen Perioden z. B. 4, 6, 10–14 einerseits und den übrigen Perioden andererseits signifikante Differenzen vorlagen.

Die Verteilung der flüchtigen Fettsäuren bei den einzelnen Rationen ist Tabelle 4 zu entnehmen.

Das Muster der Fettsäurenverteilung war unabhängig von der Gesamtkonzentration weitgehend einheitlich: rd. 2/3

Tab. 2: Durchschnittliche Gehalte an Laktat im Jejunal- bzw. Ilealchymus (mmol/l) in der 5. Std. ppr.  
 Average content of lactate (mmol/l) in the chyme (jejunum and ileum, resp.) at 5 h ppr.

Ration-Nr.	Hauptkomponente	Pferde (n)	Proben (n)	Gehalte 5. Std. ppr. (mmol/l)
1	Hafer, heil u. gequetscht	4	36	27,8 ± 24,0
2	Hafer, pelletiert <sup>1)2)</sup>	2	6	21,6 ± 15,9
3	Hafer, heil	4	18	44,6 ± 31,9
4	Hafer, heil	4	18	33,0 ± 27,7
5	Gerste, gequetscht	4	8	30,7 ± 8,3
6	Mais, heil u. gebrochen	4	37	16,6 ± 10,9
7	Mais, pelletiert <sup>1)2)</sup>	2	11	26,0 ± 16,7
8	Mais, geschrotet	4	8	27,0 ± 7,4
9	Mais, geschrotet + Amylase	4	8	11,4 ± 6,1
10	Mais, geschrotet + Heu	4	8	9,0 ± 8,0
11	Mais, gepoppt	4	8	15,8 ± 7,7
14	Kartoffeln	4	20	1,7 ± 2,6
15	Maniok	4	10	4,5 ± 2,1
16	Heu <sup>2)</sup>	2	8	0,2 ± 0,1

<sup>1)</sup> mit 10% Leinschrot

<sup>2)</sup> Ilealchymus

**Tab. 3:** Durchschnittliche Gehalte an flüchtigen Fettsäuren (mmol/l) im Jejunal- bzw. Ilealchymus in der 5. Std. ppr.  
Average content of volatile fatty acids (mmol/l) in the chyme (jejunum and ileum, resp.) at 5 h ppr.

Ration-Nr.	Hauptkomponente	Pferde (n)	Proben (n)	Gehalte 5. Std. ppr. (mmol/l)
1	Hafer, heil u. gequetscht	4	34	8,1 ± 3,9
2	Hafer, pelletiert <sup>1)2)</sup>	2	6	39,1 ± 27,4
3	Hafer, heil	4	8	16,9 ± 6,1
4	Hafer, heil	4	4	4,6 ± 0,8
5	Gerste,gequetscht <sup>3)</sup>	4	24	10,9 ± 3,3
6	Mais, heil u. gebrochen	4	37	5,0 ± 4,8
7	Mais, pelletiert <sup>1)2)</sup>	2	11	37,9 ± 14,0
8	Mais, geschrotet <sup>3)</sup>	4	23	10,3 ± 4,3
9	Mais,geschrotet+Amylase <sup>3)</sup>	4	24	13,9 ± 4,9
10	Mais, geschrotet + Heu <sup>3)</sup>	4	23	6,8 ± 1,3
12	Maissilage	4	16	3,9 ± 2,3
13	Maiskolbensilage	4	16	7,1 ± 3,7
14	Kartoffeln	4	5	5,6 ± 1,5
15	Maniok	4	4	10,0 ± 3,1

<sup>1)</sup> mit 10% Leinschrot

<sup>2)</sup> Ilealchymus

<sup>3)</sup> 3., 5. und 7. Std. ppr. zusammengefaßt

der flüchtigen Fettsäuren entfielen auf Essigsäure, etwa 1/3 auf Propionsäure und 5–7% auf Buttersäure. Der Anteil höherer Säuren war durchgehend gering. Zwischen den Futterrationen bestanden keine auffallenden Unterschiede, wohl aber zwischen einzelnen Tieren.

R. über 1 ml pro ml Chymus, ausgenommen bei Kartoffeln und Maissilage (Tab. 5).

#### Diskussion

#### *In-vitro-Inkubation*

Während der Inkubation des Jejunalchymus kam es unter den angegebenen Bedingungen zur Bildung von Gas, i.d.

Die am Ende des Dünndarms im Chymus vorkommenden organischen Säuren sind mit Sicherheit mikrobieller Herkunft. Sie können mit dem Futter aufgenommen (Sila-

**Tab. 4:** Verteilung der flüchtigen Fettsäuren (mol/100 mol) im Jejunal- bzw. Ilealchymus (5. Std. ppr.)

Distribution of volatile fatty acids (mol/100 mol) in the chyme (jejunum and ileum, resp.) at 5 h ppr.

Ration-Nr.	Hauptkomponente	Proben (n)	C2	C3 (mol/100 mol)	C4	> C4
1–4	Hafer	48	61,3 ± 19,0	27,0 ± 18,7	6,4 ± 7,4	5,1 ± 5,3
6	Mais	36	65,6 ± 17,3	25,2 ± 16,1	5,4 ± 4,2	3,2 ± 5,5
12–13	Maissilage/Maiskolbensilage	32	64,7 ± 10,9	26,4 ± 11,5	6,8 ± 3,7	–
14–15	Kartoffel / Maniok	9	61,8 ± 9,9	33,1 ± 14,9	3,9 ± 4,1	1,2 ± 1,4

**Tab. 5:** Gasbildung (ml Gas/ml Chymus) von Jejunalchymus nach der Inkubation von 6 Stunden

Gas production (ml gas / ml chyme) in the jejunal chyme during 6 h of incubation

Ration-Nr.	Hauptkomponente	Proben (n)	ml Gas/ml Chymus
1, 3, 4	Hafer	69	1,5 ± 0,6
5	Gerste, gequetscht	12	1,5 ± 0,2
6-11	Mais	88	1,3 ± 0,7
12	Maissilage	16	0,5 ± 0,5
13	Maiskolbensilage	16	1,8 ± 0,8
14	Kartoffeln	20	0,3 ± 0,4
15	Maniok	12	1,5 ± 0,4

gen) bzw. im Magen (vorwiegend in der Pars proventricularis) oder während der Dünndarmpassage gebildet worden sein. In begleitenden mikrobiologischen Untersuchungen (Kollarczik et al. 1992) konnten nach Aufnahme stärkereicher Rationen erhöhte Gehalte an Laktobazillen in Jejunalchymus nachgewiesen werden.

Im Magen wurden nach Kraftfuttergaben bis zu 55 mmol Laktat/l Chymus beobachtet (Alexander und Davies 1963, Kern et al. 1974, Argenzio et al. 1974, Wolter und Chaabouni 1979, Eilmans 1991). Durch zufließende Verdauungsssekrete wird der Magen chymus auf 1:5 bis 1:8 verdünnt (Meyer 1992b), so daß die Konzentrationen – abgesehen von einer Umwandlung zu Propionat sowie einer möglichen Absorption – stark zurückgehen müßten. Wenn dennoch z. T. recht hohe Konzentrationen im Jejunalchymus beobachtet werden, ist eine zusätzliche Bildung während der Dünndarmpassage wahrscheinlich. Dafür sprechen auch die Beobachtungen von Wolter und Chaabouni (1979) mit z. T. konstanten und hohen Laktatkonzentrationen (15–20 mmol/l) im gesamten Dünndarmbereich, jedoch – ähnlich wie bei Eilmans (1991) – mit einem Rückgang erst im Ileum. Letzteres spricht eher für einen Abbau des Laktats (bzw. Absorption) als für einen Verdünnungseffekt. Auch beim Ferkel wird eine zusätzliche Laktatbildung während der Dünndarmpassage angenommen (Kamphues 1987).

Unabhängig von der Frage nach dem Ort der Entstehung ist die Aussage gerechtfertigt, daß es nach der Fütterung stärkereicher Futtermittel je nach Menge und Art im Magen-Dünndarmbereich zu einer m. o. w. starken Milchsäurebildung kommt und am Ende des Dünndarms z. T. noch hohe Konzentrationen im Chymus vorliegen. Wenn auch die Höhe der Laktatproduktion nicht mit Sicherheit aus den Konzentrationen abgeleitet werden kann (bei den verschiedenen Rationen sind auch Unterschiede in den Ab-

bau- und Absorptionsraten möglich, ebenso wie Nebenefekte durch die begleitenden rohfaserreichen Rationskomponenten, Tab. 1), so deuten die hohen Laktatkonzentrationen (die in ähnlicher Größenordnung auch von Argenzio et al. 1974 sowie Wolter und Chaabouni 1979 beobachtet wurden) nach Fütterung von Hafer, Gerste oder fein gemahlenem Mais doch auf eine starke Produktion. Bei diesen Futtermitteln können die Laktatbildner offenbar die Stärke leichter zerlegen als bei Knollenprodukten, deren Stärke auch von körpereigenen Enzymen kaum angegriffen wurde (Illenseer 1994).

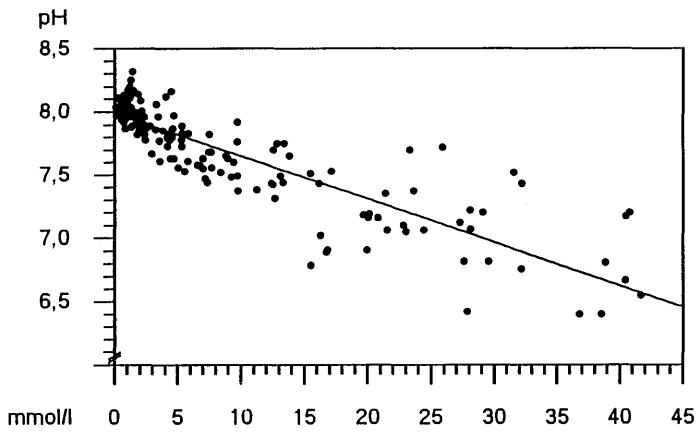
Die relativ niedrige Laktatmenge bei der Ration 11 (gepoppter Mais) mit leicht zugänglicher Stärke beruht z. T. auf der geringen Stärkeaufnahme (Tab. 1). Andererseits wurde diese Ration nur sehr langsam gefressen. Die signifikant tieferen Werte bei den Rationen 9 und 10 (gegenüber 8) mit weitgehend gleichem Zerkleinerungsgrad vom Mais sowie ähnlicher Stärkeaufnahme sind nicht befriedigend zu erklären. Während der Periode 9 nahmen die Pferde zunächst Maisschrot, anschließend Heu auf, so daß sich durch Verdünnung und Überschichtung in diesem Fall die Produktionsbedingungen für das Laktat verändert haben können.

Der postprandiale Anstieg von Laktat dürfte mit der zunächst raschen Substratzufuhr und der exponentiellen Vermehrung der laktatbildenden Flora im Zusammenhang stehen. Der spätere Abfall ist aber nicht allein auf eine Erschöpfung des Substrats (bis zur 5. bis 6. Std. haben im Mittel erst 61 % der Gesamt-Trockensubstanz den Übergang von Jejunum zum Ileum passiert) zurückzuführen, sondern evtl. auch auf eine verstärkte Laktolyse. Das pH-Optimum der laktolytischen Flora liegt um 6 (Kamphues 1987).

Auch flüchtige Fettsäuren werden bereits im Magen gebildet, die Konzentrationen können hier bis auf 40 mmol/l ansteigen (Alexander und Davies, 1963, Argenzio et al. 1974, Kern et al. 1974, Eilmans 1991). Weder von Stillions et al. (1970) noch von Mackie und Wilkins (1988) sowie Eilmans (1991) wurde eine Abnahme der Konzentration im Chymus im Verlauf des Dünndarms beobachtet. Im Gegenteil, zum Ende des Jejunums und im Ileum nahm die Konzentration eher zu, wie auch aus Werten von Alexander und Davies (1963) hervorgeht. Nach diesen Befunden kann eine zusätzliche Bildung flüchtiger Fettsäuren im Chymus während der Dünndarmpassage nicht ausgeschlossen werden, während eine effektive Absorption daraus nicht abzuleiten ist.

Ein systematischer Einfluß der Stärkeart auf die Konzentration flüchtiger Fettsäuren war nicht zu erkennen, er mag z. T. durch das Begleitfutter überdeckt worden sein. Die hohen Konzentrationen im Ilealchymus (gegenüber Jejunum) können dagegen durch den temporären Stau des Chymus vor dem Eintritt in das Caecum, der bis zu 30 Min. dauern kann (Muuß et al. 1982), erklärt werden.

Das Verteilungsmuster der flüchtigen Fettsäuren im Jejunalchymus (Tab. 4) entspricht weitgehend dem bei Wiederkäuern im Pansen. Nach Kern et al. (1974) lag der Acetatanteil im Magen chymus höher (zwischen 76 und 82 %),



**Abb. 3:** Korrelation zwischen Gesamtlaktat (x; mmol/l) und pH-Wert (y) im Jejunalchymus nach Fütterung von Ration 1 und 6  
 $y = 7,99 - 0,034 x$ ;  $r = -0,88^{***}$ ; Mittelwerte der einzelnen Stunden ppr. (n = 176) bei verschiedenen Pferden  
 Correlation between lactate (x, mmol/l) and the pH (y) in the jejunal chyme after intake of ration 1 and 6;  
 $y = 7.99 - 0.03 x$ ;  $r = -0.88^{***}$ , calculation includes mean per hour for each horse and diet (n = 176)

der Propionatanteil blieb dagegen mit 5–6 % erheblich tiefer, der der Buttersäure mit 11–16 % deutlich höher als im Jejunalchymus.

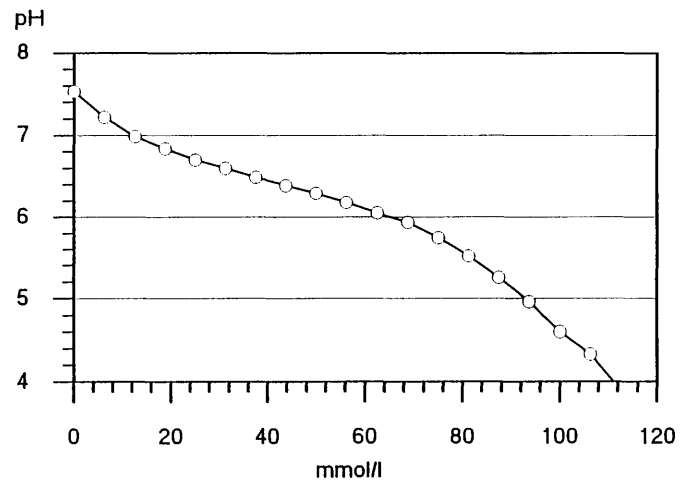
Nach den vorliegenden und früheren Beobachtungen (Kern et al. 1974, Wiese-Twele 1985, Meyer et al. 1993) sind bei artgemäßer Ernährung der Pferde (Heu) die postprandialen pH-Wert-Schwankungen im Dünndarmchymus gering und liegen zwischen 7,2 und 8. Dieser als Norm anzuspreekende Bereich wird bei stoßweiser Aufnahme bestimmter stärkerer Futtermittel merklich unterschritten.

Für die Veränderung der pH-Werte im Jejunalchymus ist – wie auch bei Ferkeln nachgewiesen (Kamphues 1987) – vor allem die Milchsäure (Abb. 2) verantwortlich, erwartungsgemäß weniger die flüchtigen Fettsäuren. Ähnlich wie für Ration 1 und 6 (Abb. 3) bestanden auch bei den übrigen Rationen sowie in zusätzlichen Untersuchungen (Flothow 1994) zwischen Laktatgehalt (x; mmol/l) und pH-Wert (y) negative Beziehungen mit fast identischen Regressoren (allerdings in Abhängigkeit vom pH-Wert-Bereich). Durch Zulage von Milchsäure in Mengen von 0 bis 40 mmol/l zum Chymus konnte diese Beziehung in vitro weitgehend reproduziert werden.

				pH-Wert-Bereich
$r = -0,88$	$y = 7,99 - 0,03x$	$n = 880$	Ration 1 und 6	8,48–5,03
$r = -0,76$	$y = 7,79 - 0,03x$	$n = 440$	Ration 8 bis 11	8,40–5,67
$r = -0,75$	$y = 7,94 - 0,02x$	$n = 134$	Ration 3, 4, 14, 15	8,35–5,19
$r = -0,88$	$y = 7,81 - 0,01x$	$n = 18$	(Flothow 1994)	8,23–6,50
$r = -0,84$	$y = 7,74 - 0,02x$	$n = 31$	in vitro	8,53–6,34

Die Veränderungen der pH-Werte durch wechselnde Konzentrationen flüchtiger Fettsäuren war – wie bereits von Landes (1992) nachgewiesen – gering. Die Summe aller organischen Säuren korrelierte ( $r = -0,81^{***}$ ) nicht stärker mit dem pH-Wert als die Laktatkonzentration allein.

Die Prüfung der Pufferkapazität des Chymus (Abb. 4) ergab für den pH-Bereich von 6 bis 7 die größte Stabilität (bei linearem Abfall), ober- und unterhalb dagegen die stärksten Veränderungen. Die Pufferkapazität ist – wie auch die niedrigen Phosphat- und Bicarbonatgehalte im Chymus (Alexander und Hickson 1970) erwarten lassen – nicht sehr hoch. Erst im Ileum kommt es zu einer stärkeren Bicarbonatsekretion, die im wesentlichen zur Pufferung des Chymus im Caecum dient (Alexander und Hickson 1970).



**Abb. 4:** Veränderungen des Chymus-pH nach Titration mit 0,25 m HCl, n = 6, Chymusentnahme 5–6 Std. ppr.  
 Changes of the pH in the jejunal chyme after titration with 0.25 m HCl, n = 6; sampling 5–6 h ppr.

Die Folgen einer erhöhten mikrobiologischen Aktivität im Dünndarm der Pferde (bzw. der Zufluß mikrobiell gebildeter Metaboliten aus dem Magen) lassen sich erst in Umrissen erkennen. Nach Erfahrungen bei Wiederkäuern können erhöhte Laktatkonzentrationen (> 40 mmol/l) in der Pansenflüssigkeit in Verbindung mit pH-Werten unter 5 zu Schleimhautschäden führen (Gäbel 1980). Die Einwirkungszeit hoher Laktatkonzentrationen und tiefer pH-Werte auf die Dünndarmschleimhaut der Pferde ist zwar wesentlich kürzer als auf die Pansenschleimhaut, da hohe Konzentrationen i. d. R. nur 2 bis 3 Std. bestehen (Abb. 2) und der Dünndarm in 1,5 bis 2 Std. durchlaufen wird (Muuß et al. 1982). Andererseits dürfte die Dünndarmschleimhaut empfindlicher reagieren. Histologische Untersuchungen fehlen, doch nach ausschließlicher Kraftfütterung fiel z. B. ein signifikant höheres Dünndarmgewicht (leer) als nach Heufütterung (Meyer et al. 1993) auf. KiENZLE und RADICKE (1993) beobachteten nach kraftfütter-

reichen Rationen eine deutliche Verdickung der Mucosa, die vermutlich infolge von Reaktionen des lymphatischen Apparates entstand. Die Beobachtung von Coenen (1992), daß nach ausschließlicher Kraftfutterzuteilung vermehrt Schleimhautschäden im Magen (Pars proventricularis) auftreten, lassen solche Veränderungen auch im Dünndarm möglich erscheinen. Dann könnten ggfl. die nach einseitiger Kraftfuttergabe stark erhöhten Lipopolysaccharid-Gehalte im Dünndarmchymus (Kamphues et al. 1992) bei Überwindung der Darmschranke zusätzlich klinische Relevanz erhalten.

Der starke pH-Wertabfall nach hoher Kraftfutterzulage hat evtl. nicht nur Folgen für die Schleimhautfunktion, sondern kann, wie bei Wiederkäuern bekannt (Gäbel 1980), die Motilität des Darmrohres, aber auch die Aktivität verschiedener Verdauungsenzyme senken. Bei pH 6,5 geht die an sich schon geringe Amylaseaktivität beim Pferd (Optimum pH 7) auf etwa 80 % zurück (Radicke 1990).

Schließlich ist auf das Risiko einer erhöhten Gasbildung nach hoher Kraftfutterzuteilung hinzuweisen, das im Exhalationstest (Zentek et al. 1992) deutlich wurde. Die geringe Differenzierung zwischen den Rationen im in-vitro-Test (Tab. 5) ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß bei einer nicht gepufferten Chymusprobe die Flora in ihren Metaboliten erstickt. Neben der mikrobiell gebildeten H<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-Menge kann bei den tiefen pH-Werten auch vermehrt CO<sub>2</sub> aus Bicarbonat entstehen. Wenn auch für CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> eine hohe Absorptionskapazität besteht (Zentek 1991), so ist bei einem Ungleichgewicht zwischen Bildung und Absorption – vor allem im Zusammenhang mit evtl. bestehenden Motilitätsstörungen – ein temporärer Überdruck durchaus denkbar, der bei mehr als 15 mbar zu Schmerzen führt (Allen und White 1984). Bei Aufnahme konzentrierter Kraftfuttermittel, besonders mit erhöhtem Keimgehalt, sind wiederholt Koliken (unter dem Bild der Krampfkolik) beschrieben worden (Kamphues und Böhm 1990, Gieselmann 1994).

Für die Fütterungspraxis wird mit den vorliegenden Ergebnissen unterstrichen, daß durch die diskontinuierliche Aufnahme konzentrierter Futtermittel nicht nur die Verdauung und Passage im Magen belastet wird (Meyer et al. 1980), sondern auch die Verdauungsvorgänge im Dünndarm. Daher ist sowohl die Art als auch die Menge der pro Mahlzeit aufgenommenen Kohlenhydrate zu beachten. In der Ration 3 erreichte die Haferaufnahme mit rd. 5 kg/500 kg KM/Mahlzeit extrem hohe Werte, die z. T. aber in der Praxis sogar noch überschritten werden (bis 8 kg/Mahlzeit; Meyer et al. 1991). Bei der empfohlenen Höchstmenge von 2,5 kg stärkereichem Kraftfutter/500 kg KM pro Mahlzeit (Meyer 1992b) bleibt die Absenkung der pH-Werte noch im physiologischen Bereich (Abb. 1). Der in Zukunft sicher zunehmende Aufschluß von Getreidestärke, besonders von Mais- und Gerstekörnern (Mikronisierung, Flocken, Poppen etc.) bei kommerziellen Mischfuttern, kann einerseits zwar die praecaecale Verdaulichkeit der Stärke erhöhen (Meyer et al. 1994), andererseits könnten aber auch größere Risiken für Dysbiosen im Magen und Dünndarm entstehen. Eine angepaßte Fütterungstechnik

(Senkung der pro Mahlzeit zugegebenen Menge) kann ein derartiges potentielles Risiko sicher abschwächen.

## Literatur

- Alexander, F. und Davies, M. E. (1963): Production and fermentation of lactate by bacteria in the alimentary canal of the horse and pig. *J. Comp. Path.* 73, 1–8
- Alexander, F. und Hickson, J. C. D. (1970): The salivary and pancreatic secretion of the horse. in: *Phillipson, A. T.* (Hrsg.): *Physiology of digestion and metabolism in the ruminant.* Verlag Oriel Press, Newcastle upon Thyne, 375–389
- Allen, D. und White, N. A. (1984): Effects of small bowel distention in the horse. *Zentralblatt Pferd*, 3, 84, Vol. 1
- Argenzio, R. A., Southworth, M. und Stevens, C. E. (1974): Sites of organic acid production and absorption in the equine gastrointestinal tract. *Am. J. Physiol.* 226, 1043–1049
- Coenen, M. (1992): Beobachtungen zum Vorkommen von Magenulcera beim Pferd. *Pferdeheilkde., Sonderausgabe*, 188–191
- Eilmans, I. (1991): Fettverdauung beim Pferd sowie die Folgen einer marginalen Fettversorgung. *Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.*
- Flothow, C. (1994): Einfluß von Kokosfett und Sojaöl auf praecale Verdauungsvorgänge beim Pferd. *Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.*
- Gerhards, H., Radicke, S. und Hipp, K.-H. (1991): Anlage, Pflege und Nutzung von Dünndarmfisteln bei Ponys. *Pferdeheilkde.* 7, 243–248
- Gieselmann, A. (1994): Nutritive Anamnese bei Kolikfällen des Pferdes. *Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.*
- Gäbel, G. (1990): Pansenacidose. *Übers. Tierernähr.* 18, 1–38
- Huskamp, B., Schwabenbauer, K., Pferdekamp, M. und Meyer, H. (1982): Anlage und Wartung von Caecumfisteln beim Pferd. *Fortschr. Tierphysiol. Tierernähr. Beiheft* 13, 7–12
- Illenseer, M. (1994): Praecale Verdaulichkeit von Hafer-, Kartoffel- und Maniokrationen beim Pferd. *Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.*
- Kamphues, J. (1987): Untersuchungen zu Verdauungsvorgängen bei Absetzferkeln in Abhängigkeit von Futtermenge und -zubereitung sowie von Futterzusätzen. *Tierärztl. Hochsch. Hannover, Habilitationsschrift*
- Kamphues, J. und Böhm, K. H. (1990): Tierernährung für Tierärzte - aktuelle Fälle „Krampfkoliken“ bei Pferden nach Fütterung eines verdorbenen Hafers. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 97, 367–368
- Kamphues, J., Denell, S. und Radicke, S. (1992): Lipopolysaccharid-Konzentration im Magen-Darm-Trakt von Ponys nach Aufnahme von Heu bzw. einer kraftfutterreichen Ration. *Pferdeheilkde., Sonderausgabe*, 59–62
- Kern, D. L., Slyter, L. L., Leffel, E. C., Weaver, J. M. und Oltjen, R. R. (1974): Pony vs. steer: Microbial and chemical characteristics of intestinal ingesta. *J. Anim. Sci.* 38, 559–564
- Kienzle, E. und Radicke, S. (1993): Effect of diet on maltase, sucrase and lactase in the small intestinal mucosa of the horse. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 70, 97–103
- Kleffken, D. (1993): Praecale Verdauung von Getreidestärke (Gerste/Mais) in Abhängigkeit von Zubereitung, Rauhfutterangebot und Amylasezusatz beim Pferd. *Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.*
- Kollarczik, B., Enders, C., Friedrich, M. und Gedek, B. (1992): Auswirkungen der Rationszusammensetzung auf das Keimspektrum im Jejunum des Pferdes. *Pferdeheilkde., Sonderausgabe*, 49–54
- Kropp, S. (1991): Bakteriologische Untersuchungen zur Zusammensetzung der Darmflora des Pferdes und deren Beeinflussung durch Chemotherapeutika. *Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.*
- Landes, E. (1992): Amylaseaktivität sowie Konzentration organischer Säuren im Jejunum- und Caecumchymus des Pferdes nach Hafer- und Maisfütterung. *Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.*
- Mackie R. I. und Wilkins, C. A. (1988): Enumeration of anaerobic bacterial microflora of the equine gastrointestinal tract. *Appl. Environ. Microbiol.* 54, 2155–2160



- Meyer, H. (1992a): Intestinaler Wasser- und Elektrolytstoffwechsel des Pferdes. Übers. Tierernähr. 20, 135–166
- Meyer, H. (1992b): Pferdefütterung. 2. Aufl. Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg
- Meyer, H., Radicke, S. und Kienzle, E. (1994): Praeileal digestibility of various starch in horses. (in Vorbereitung)
- Meyer, H., Ahlswede, L. und Pferdekamp, M. (1980): Untersuchungen über Magenentleerung und Zusammensetzung des Mageninhaltes beim Pferd. Dtsch. Tierärztl. Wochenschr. 87, 404–408
- Meyer, H., Kienzle, E. und Zmija, G. (1991): Fütterungspraxis in Trainingsställen von Galopp- und Trabrennpferden. Pferdeheilkde. 7, 365–376
- Meyer, H., Stadermann, B. und Coenen, M. (1993): Einfluß von Futterart, Bewegung, Alter und Körpergröße auf die Masse von Verdauungskanal, Leber und Pankreas beim Pferd. Pferdeheilkde. 9, 103–106
- Muuß, H., Meyer, H. und Schmidt, M. (1982): Entleerung und Zusammensetzung des Ileumchymus beim Pferd. Fortschr. Tierphysiol. Tierernähr. Beiheft 13, 13–23, Paul Parey Verlag, Berlin, Hamburg
- Radicke, S. (1990): Untersuchung zur Verdauung von Mais- und Haferstärke beim Pferd. Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.
- Rottmann, J. (1994): Untersuchungen zur Verdaulichkeit (insgesamt und praieileal) von Maissilage und Maiskolbensilage beim Pferd. Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.
- Stillions, M. C., Teeter, S. M. und Nelson, W. E. (1970): Equine digestive volatile fatty acid concentration. 2nd Equine Nutr. Physiol. Symp., Ithaca, New York, 21–22
- Wiese-Twele, M. (1985): Stickstoffhaltige Fraktionen im Ileumchymus und Kot des Pferdes. Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.
- Wilke, S. (1992): Zur praieilealen Verdaulichkeit von Hafer und Mais verschiedener Zubereitungen beim Pferd. Tierärztl. Hochsch. Hannover, Diss.
- Wolter, R. und Chaabouni, A. (1979): Etude de la digestion de l'amidon chez le cheval par analyse du contenu digestif après abattage. Rev. Med. Vet. 130, 1345–1357
- Zentek, J. (1991): Mikrobielle Gasbildung im Intestinaltrakt von Monogastriern. Teil 1: Entstehung, Lokalisation, Qualität, Quantität. Übers. Tierernähr. 19, 273–312
- Zentek, J., Nyari, A. und Meyer, H. (1992): Untersuchungen zur postprandialen H<sub>2</sub>- und CH<sub>4</sub> Exhalation beim Pferd. Pferdeheilkde., Sonderausgabe, 64–66

H. Meyer

E. Landes

Institut für Tierernährung,  
Tierärztliche Hochschule Hannover  
Bischofsholer Damm 15  
30173 Hannover

## Kurzreferat

# Prognostische Parameter bei der Kolik des Pferdes

R. Ebert (1994)

Tierärztl. Prax. 22, 256–263

Das Pferd leidet von allen Haustieren am häufigsten an einer Koliksymptomatik. Die prognostische Beurteilung der Grundkrankheit eines Kolikpferdes ist wesentlich für das weitere therapeu-

peutische Vorgehen. Aber auch für den Besitzer und den Tierarzt hat die Prognose im Hinblick auf wirtschaftliche, versicherungsrechtliche und forensische Aspekte eine große Bedeutung. Der Verfasser dieser Studie untersuchte retrospektiv anhand der Daten von 271 Kolikpferden den prognostischen Wert nachfolgend aufgelisteter klinischer und labordiagnostischer Parameter: Rasse, Geschlecht, Alter, Krankheitsdauer, Koliksymptome, Kolikverlauf, Kolikintensität, Allgemeinbefinden, Magenüberladung, Körpertemperatur, Maulschleimhautfarbe, Kapillarfüllungszeit, Pulsfrequenz, Pulsrhythmus, Pulsqualität, Füllung der A. maxillaris ext., Spannung der A. maxillaris ext., Herzfrequenz, Atemfrequenz, Peristaltik, systolischer Blutdruck, diastolischer Blutdruck, Menge, Farbe und Trübung des Bauchhöhlenpunktes, Hämatokrit, Hämoglobin, Erythrozyten, Leukozyten, Monozyten, Lymphozyten, stabkernige neutrophile Granulozyten, segmentkernige neutrophile Granulozyten, eosinophile Granulozyten, basophile Granulozyten, Gesamtbilirubin, sekundäres Bilirubin, Harnstoff, Kreatinin, Blutzucker, Chlorid, Natrium, Kalium, Kalzium, Phosphor, Serum-Gesamteiweiß, Aspartataminotransferase, Alkalische Phosphatase, Laktatdehydrogenase, Kreatinkinase, Sorbitdehydrogenase, Glutamatdehydrogenase, Gamma-glutamyltransferase, Ammoniak, Laktat, pH-Wert, Basenexzeß, Bikarbonat und Anionenlücke.

Die prognostische Aussage ist begrenzt auf einen Zeitraum von maximal 24 Stunden nach der Erstuntersuchung. Die Daten stammen von 161 Warmblutpferden, 34 Trabern, 30 Englischen Vollblutpferden, 22 Kleinpferden, 14 Arabern und 5 Kaltblutpferden. Die Pferde (34 Hengste, 102 Wallache, 133 Stuten) hatten ein Durchschnittsalter von 8,4 Jahren.

Der Verfasser kommt zu dem Ergebnis, daß nach Auswertung mittels Student's t-Test und Chi-Quadrat-Test folgende quantitativen Parameter einen hochsignifikanten prognostischen Aussagewert ( $P < 0,0001$ ) haben: Kapillarfüllungszeit, Pulsfrequenz, Herzfrequenz, Atemfrequenz, Hämatokrit, Hämoglobinkonzentration, Blutlaktat, Basenexzeß und Anionenlücke.

Als qualitative Variablen konnte der Intensität der Koliksymptome, dem Störungsgrad des Allgemeinbefindens, der Maulschleimhautfarbe, der Pulsqualität und der Darmperistaltik eine sehr gute prognostische Wertigkeit zugesprochen werden.

## Prognostic parameters in equine colic

A retrospective study was performed on 271 horses with colic referred to the I. Medizinische Tierklinik within a period of 2 years, to examine prognostic value of different clinical and diagnostic laboratory parameters by Student's t-test and the Chi-squared test. The following quantitative parameters presented a highly significant prognostic value ( $P < 0.0001$ ): capillary refill time, pulse rate, heart rate, respiratory rate, hematocrit, hemoglobin concentration, blood lactate, base excess and anion gap. The intensity of colic signs, the degree of disturbance of the patient's general condition, the colour of the oral mucosa, the pulse quality as well as peristalsis proved to be qualitative variables with the greatest prognostic importance ( $P < 0.00001$ ).