

Jejunoilealer Chymus-, Wasser- und Elektrolytfluß beim Pferd

H. Meyer, M. Illenseer und S. Radicke

Institut für Tierernährung, Tierärztliche Hochschule Hannover

Zusammenfassung

Bei jeweils 4 Pferden mit einer Fistel am Ende des Jejunums wurden der Chymusfluß (postprandiale Sammlung für jeweils 15 Minuten in stündlichen Abständen) für 15 verschiedene Rationen (Tab. 1) gemessen und der Trockensubstanzgehalt, z.T. auch die Elektrolytkonzentrationen im Chymus bestimmt. Die mittleren TS-Gehalte im Chymus variierten zwischen 4,2 und 8,4 % und korrelierten deutlich mit der aufgenommenen TS-Menge ($r = 0,89^{+++}$, Abb. 1). Der Gesamtchymusfluß schwankte zwischen 70 und 140 g/kg KM/12 Stunden (Tab. 2). Er wird u.a. durch die Rfa-Aufnahme beeinflusst ($r = 0,51^+$, Abb. 4). Zwischen Chymusfluß pro kg Futter-TS und aufgenommener TS-Menge pro kg KM bestand eine kurvenförmige Beziehung ($r = 0,82^{+++}$, Abb. 5). Für die Elektrolytkonzentrationen im Chymus wurden im Mittel folgende Werte registriert: Natrium: 119–153, Kalium: 10–35, Chlorid: 12–24 mmol/kg uS. Daraus resultierte ein jejunoilealer Fluß (in mg/kg KM/Tag) für Natrium von $\bar{\varnothing}$ 656 (544–755), für Kalium von ca. 195 (69–293) und für Chlorid von $\bar{\varnothing}$ 152 (81–209).

Schlüsselwörter: Jejunoilealer Chymusfluß, Wasser- und Elektrolytfluß

Jejunoileal digesta, water and electrolyte flow in the horse

At least 4 horses per diet, fitted with permanent fistulas at the end of the jejunum, were used to investigate the jejunoileal digesta flow (samples taken postprandially 15 min/h from the 1st to 11th hour) and the content of dry matter and electrolytes in the chyme. They were fed 15 different diets (tab. 1). The average DM-content in the chyme varied between 4,2 and 8,4% and correlated strongly with the DM-intake ($r = 0,89^{+++}$, fig. 1).

The total digesta flow per kg BW/12 h (70–140 g, table 2) was influenced by the crude fiber intake ($r = 0,51^+$, fig. 4). The flow of chyme per kg DM-intake correlated highly ($r = 0,82^{++}$, fig. 5) with the amount of DM-intake. The concentration of Na, K resp. Cl in the chyme was 119–153, 10–35 resp. 12–24 mmol/kg digesta. Therefore the following daily jejunoileal flow/kg BW was estimated: sodium: $\bar{\varnothing}$ 656 mg (544–755), potassium: $\bar{\varnothing}$ 195 mg (69–293), chloride: $\bar{\varnothing}$ 152 mg (81–209).

keywords: Jejunoileal digesta, water and electrolyte flow in the horse

Postprandial besteht beim Pferd zwischen dem intravasalen Flüssigkeitsraum und dem Darmlumen ein ausgeprägter Kreislauf von Wasser und Elektrolyten aufgrund der hohen Sekretion im Kopf- und Mitteldarm und der überwiegend erst im Dickdarm stattfindenden Absorption (Argenzio et al., 1974).

Wie frühere Untersuchungen mit caecumfistulierten Pferden gezeigt haben (Meyer et al., 1982a), wird dieser Kreislauf, der sowohl für die Folgen eines Dünndarmileus als auch für die Pathogenese von Diarrhoen von Bedeutung ist, von der Art und Menge der aufgenommenen Futtermittel beeinflusst. Neuere Untersuchungen, die im Zusammenhang mit der Bestimmung der Stärkeverdaulichkeit im Dünndarm bei jejunumfistulierten Pferden (Wilke, 1992; Umland, 1993; Rottmann, 1994; Illenseer, 1994) durchgeführt wurden, erlauben weitergehende Aussagen zu dieser Frage.

Tiere, Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden mit 15 verschiedenen Rationen (Tab. 1) bei jeweils 4 Pferden durchgeführt. Insgesamt

waren 7 verschiedene Versuchstiere mit einem Körpergewicht von 160–300 kg beteiligt, die am Ende des Jejunums eine Fistel ($\bar{\varnothing}$ 16–20 mm) trugen (Gerhards et al., 1991).

Die Art der verwendeten Futtermittel sowie die Aufnahme der in diesem Zusammenhang wichtigsten Inhaltsstoffe ist Tabelle 1 zu entnehmen. In den Rationen war ein handelsübliches Mineralfutter in einer Menge von ca. 0,25 g/kg/Tag enthalten. Das Futter wurde jeweils im 12-stündigen Abstand zugeteilt. Die Trockensubstanz (TS) - Aufnahme pro Mahlzeit variierte zwischen 3,0 und 10,7 g/kg Körpermasse (KM).

Der Chymus konnte aufgrund der dünnflüssigen Beschaffenheit (rd. 4–8% TS, Tab. 2) durch spontanen Abfluß aus der jeweils für 15 Minuten pro Stunde geöffneten Fistel (1.–11. Std. nach der Morgenmahlzeit) gewonnen werden. Diese Menge wurde auf die 12-stündige Versuchsperiode hochgerechnet.

Der TS-Gehalt im Chymus wurde durch Gefriertrocknung bis zur Gewichtskonstanz ermittelt. Nach nasser Veraschung konnten Natrium und Kalium flammenphotometrisch entsprechend den Angaben von Schuhknecht und Schinkel (1963) bestimmt werden, während die Cl-Analyse direkt –

Tab. 1: Rationskomponenten sowie Aufnahme von TS, Rfa, Na, K und Cl pro kg KM/Mahlzeit
Components of the food rations and intake of DM, CF, Na, K and Cl per kg/BW/meal

| Ration Nr. | Komponenten | stärke- reiche Komp. g uS | Grün- mehl g uS | Heu g uS | TS gesamt g | Rfa g | Na mg | K mg | Cl mg |
|------------|--------------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------|-------------------|----------|----------|---------|----------|
| 1 | Hafer, heil | 5,7 | - | - | 5,2 | 0,6 | | | |
| 2 | Hafer, gequetscht | 5,0 | - | - | 4,6 | 0,5 | | | |
| 3 | Hafer, heil, hochdosiert | 10,2 | 1,5 | - | 10,7 | 1,4 | 6,3 | 89 | 27 |
| 4 | Hafer, heil, + Heu | 5,1 | - | 3,5 | 7,8 | 1,5 | 10,1 | 84 | 29 |
| 5 | Mais, heil | 3,2 | - | - | 3,0 | 0,1 | | | |
| 6 | Mais, gebrochen | 3,4 | - | - | 3,2 | 0,1 | | | |
| 7 | Mais, geschrotet | 3,1 | 4,9 | - | 7,2 | 1,2 | | | |
| 8 | Mais, geschr., + Amylase | 3,1 | 4,6 | - | 6,9 | 1,1 | | | |
| 9 | Mais, geschr., + Heu | 2,7 | - | 3,9 | 5,9 | 1,0 | | | |
| 10 | Mais, gepoppt | 2,1 | 4,9 | - | 6,3 | 1,2 | | | |
| 11 | Gerste | 4,0 | 4,8 | - | 8,0 | 1,2 | | | |
| 12 | Maissilage | 12,3 | - | - | 3,6 | 0,7 | 42 | 43 | |
| 13 | Maiskolbensilage (CCM) | 3,8 | - | 2,0 | 4,1 | 0,4 | 43 | 33 | |
| 14 | Kartoffeln, roh | 9,2 | 5,0 | - | 7,6 | 1,6 | 34 | 176 | 41 |
| 15 | Maniok, geschrotet | 3,1 | 5,0 | - | 7,5 | 1,6 | 21 | 154 | 38 |

nach Verdünnung des Chymus mit Aqua dest. – durch Titration mit dem Corning Chlorid Analyser 925 erfolgte.

Tab. 2: TS-Gehalte im Chymus und jejunoilealer Fluß¹
DM content in the chyme and jejunoileal flow¹

| Ration | TS-Gehalt Chymus %(Ø/Tag) | jejunoilealer Fluß | |
|--------|------------------------------|--------------------|--------------------|
| | | g/kg KM/12 Std. | kg/kg Futter-TS |
| 1 | 4,7 ± 1,4 | 67,9 ± 25 | 13,1 |
| 2 | 4,5 ± 1,5 | 74,8 ± 28 | 16,3 |
| 3 | 7,7 ± 2,2 | 99,3 ± 22 | 9,3 |
| 4 | 6,3 ± 0,7 | 86,8 ± 29 | 11,1 |
| 5 | 4,5 ± 1,4 | 75,2 ± 18 | 25,1 |
| 6 | 4,7 ± 1,6 | 77,3 ± 18 | 24,2 |
| 7 | 7,1 ± 1,9 | 87,6 ± 32 | 12,2 |
| 8 | 7,1 ± 1,7 | 83,2 ± 28 | 12,1 |
| 9 | 5,9 ± 2,2 | 84,4 ± 25 | 14,3 |
| 10 | 5,9 ± 1,8 | 120 ± 22 | 19,0 |
| 11 | 8,4 ± 2,4 | 93,1 ± 29 | 11,6 |
| 12 | 4,2 ± 0,8 | 113 ± 21 | 31,6 |
| 13 | 4,4 ± 1,1 | 121 ± 28 | 29,3 |
| 14 | 6,5 ± 1,0 | 141 ± 34 | 18,6 |
| 15 | 6,9 ± 1,2 | 130 ± 32 | 17,3 |

¹⁾: 4–5 Pferde, 2-5 Versuchstage, jeweils 11 Einzelproben oder 1 Sammelprobe (Aliquot aus 11 Einzelwerten) pro Tag

Für die statistische Auswertung wurden die üblichen Verfahren (t-Test für Mittelwertvergleiche, Korrelationsberechnung) angewendet.

Ergebnisse

TS-Gehalte im Chymus

Die TS-Gehalte im Chymus schwankten zwischen 4,2 und 8,4% (Tab. 2), dabei erreichten Unterschiede von > 3,3% (absolut) Signifikanz. Eine wesentliche Variationsursache war die Höhe der aufgenommenen TS-Menge, da zwischen beiden Größen eine straffe Beziehung bestand (r = 0,89⁺⁺⁺; Abb. 1).

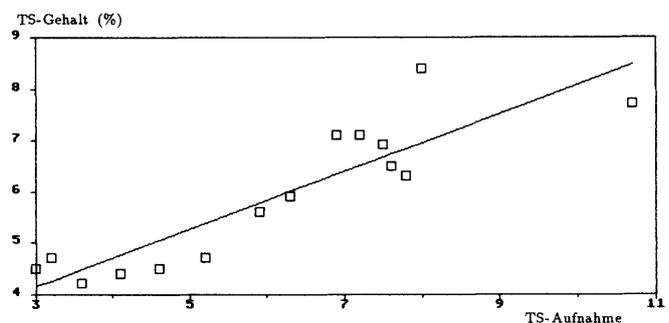


Abb.1: Beziehung zwischen TS-Gehalt im Chymus (y; % TS) und Höhe der TS-Aufnahme (x; g/kg KM/12 Std.)

Relationship between DM content in chyme (y; % TS) and DM intake (x; g/kg BW, 12 h).

$y = 2,47 \times 0,56 x$ $r = 0,89^{+++}$ $n = 15$

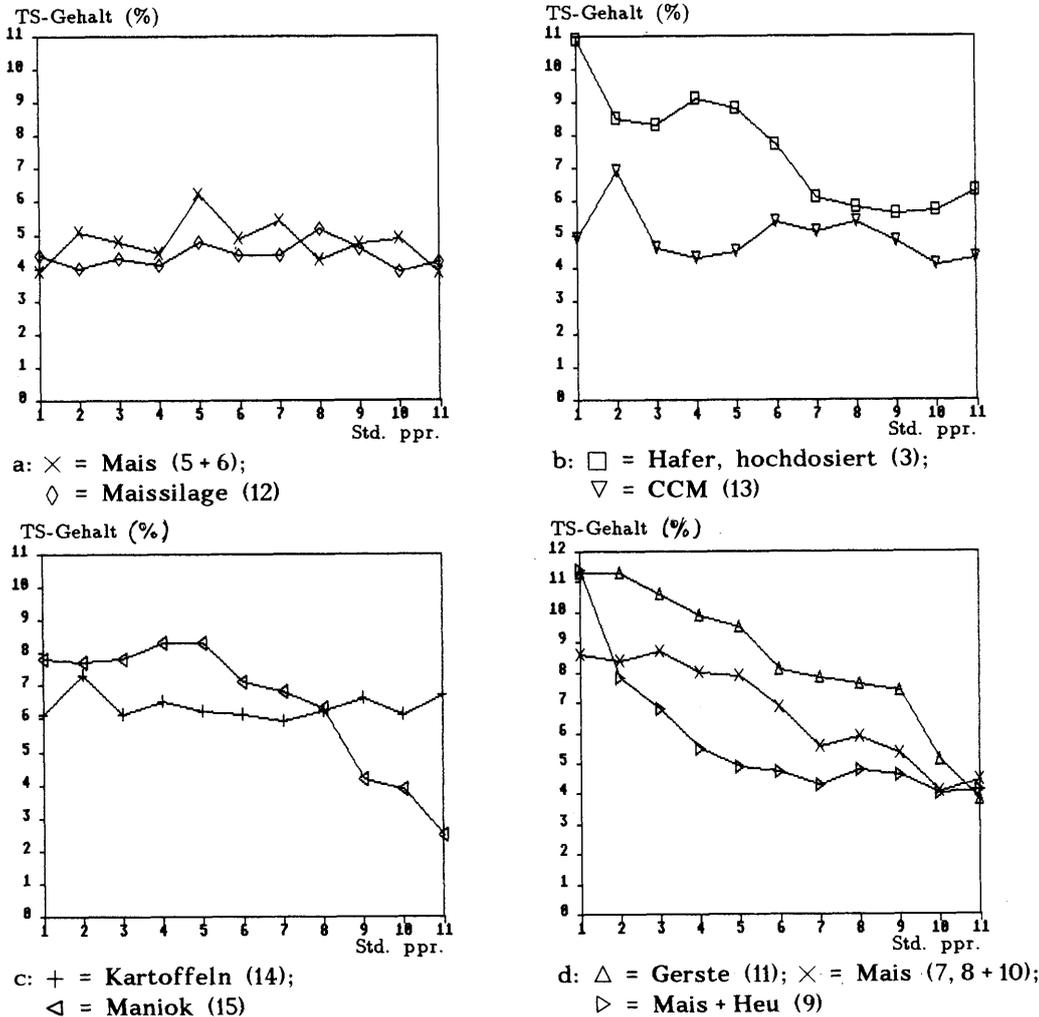


Abb. 2: TS-Gehalte im Jejunumchymus (%) im postprandialen Verlauf.

Postprandial DM content in jejunal chyme (%).

Der postprandiale Verlauf der TS-Gehalte im Chymus bot recht unterschiedliche Bilder. Während bei einigen Rationen (Nr. 5, 6, 12) der Gehalt im Tagesverlauf nur wenig schwankte (Abb. 2a), fiel er bei der hochdosierten Haferration (3) ausgehend von 11% in der 1. Std. ppr. in den folgenden Stunden signifikant ab. Bei der CCM- und Kartoffelration (13, 14) zeigten sich signifikante Anstiege zur 2. Std. mit anschließendem Rückgang (Abb. 2b/c). Dagegen blieben die TS-Gehalte bei der Maniokration (15) bis zur Tagesmitte auf gleichem Niveau und fielen dann signifikant ab (Abb. 2c). Bei den Rationen 9, 11 sowie 7/8/10 (Abb. 2d) war der postprandiale Rückgang im TS-Gehalt fast linear, so daß sich hohe negative Korrelationen zum Abstand von der letzten Fütterung ergaben ($r = -0,82^{+++}/ -0,97^{+++}/ -0,96^{+++}$).

Gehalte an Elektrolyten im Chymus

Die Na-Gehalte erreichten im Tagesmittel etwa 135 mmol/l (Tab. 3) mit niedrigsten Werten in der Ration 3 (geringste Na-Aufnahme) und höchsten in der Ration 13 (geringste K-Aufnahme). Im Tagesverlauf veränderte sich die Na-Konzentration nur unwesentlich (Abb. 3a), doch fiel bei der Na-

armen Ration (3) ein temporärer, allerdings nicht signifikanter Abfall zur 3. Std. sowie bei den Rationen 12/13 und 14/15 ein Anstieg in der zweiten Tageshälfte auf, der sich für die Rationen 14/15 von der 8. zur 10. Std. ppr. statistisch absichern ließ.

Die K-Gehalte bewegten sich bei den Rationen 3, 4, 14 und 15 im Bereich von 30–35 mmol/l, lagen jedoch bei den Rationen mit der geringeren K- und hohen Na-Aufnahme (12, 13) signifikant niedriger (Tab. 3). Im Tagesverlauf kam es bei den Kartoffel-/Maniokrationen zu einem statistisch gesicherten Rückgang von der 5. zur 9.–11. Std. ppr. (Abb. 3b). Bei der Ration 3 fiel parallel zum Abfall des Na-Gehaltes ein tendenzieller Anstieg der K-Konzentration auf, so daß die Summe von Na + K im Tagesdurchschnitt (Tab. 3) fast konstant blieb.

Die Cl-Konzentrationen lagen im Tagesmittel im Bereich von 12–24 mmol/l mit signifikant geringeren Gehalten nach Fütterung der Ration 3. Postprandial deutete sich ein U-förmiger Verlauf an (Abb. 3c), wobei sowohl der anfängliche Rückgang (1. zur 6. (3) bzw. 2. (14/15) Std. ppr.) als auch der spätere Anstieg bei den Rationen 14/15 statistisch gesichert werden konnte.

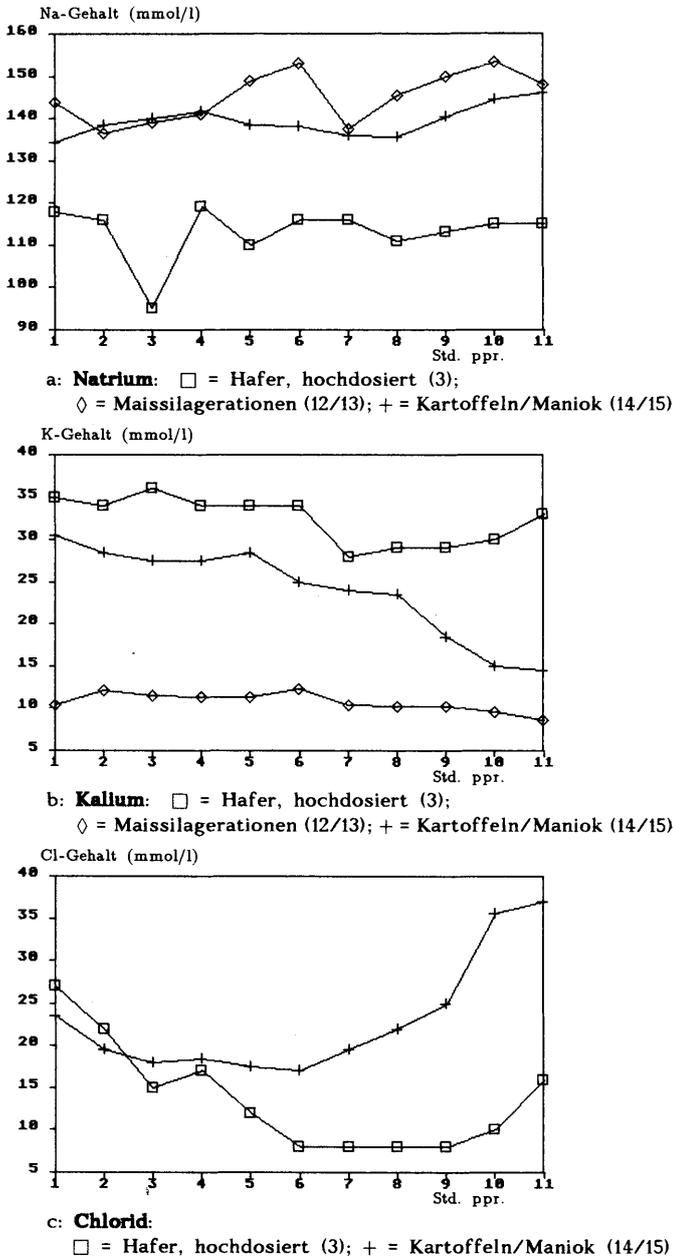


Abb. 3: Elektrolytkonzentrationen im Chymus (mmol/l) im postprandialen Verlauf
Postprandial electrolyte concentrations in chyme (mmol/l)

Jejuniolealer Chymusfluß

Während der 12-stündigen Versuchsperiode flossen pro kg KM zwischen 70 und 140 g Chymus vom Jejunum in das Ileum (Tab. 2). Zwischen der Höhe der TS-Aufnahme und dem Chymusfluß bestand keine gesicherte Beziehung ($r = 0,26$). Die Rohfaseraufnahme (x , g/kg KM/12 Std.) beeinflusste dagegen den Chymusfluß pro kg KM/12 Std. (y) stärker ($r = 0,51^+$, $y = 76 + 23 x$, $n = 15$; Abb. 4). Ohne den auffallend abweichenden Wert der Ration 13 (CCM) erhöhte sich die Korrelation auf $r = 0,66^{++}$, $y = 67 + 29 x$, $n = 14$. Wird der Chymusfluß auf die aufgenommene TS-Menge pro Mahlzeit bezogen, so ergaben sich Werte im Bereich zwischen 9 und fast 32 kg/kg Futter-TS (Tab. 2). Der für diese

Tab. 3: Elektrolytgehalte im Jejunumchymus (mmol/kg)
Electrolyte contents in jejunal chyme (mmol/kg)

| Ration | n | Na | K | Na + K | Cl |
|--------|----|----------|---------|--------|----------|
| 3 | 8 | 119 ± 23 | 33 ± 17 | 152 | 12 ± 4,6 |
| 4 | 8 | 125 ± 20 | 35 ± 15 | 160 | 21 ± 8,8 |
| 12 | 8 | 139 ± 28 | 12 ± 4 | 151 | |
| 13 | 8 | 153 ± 32 | 10 ± 4 | 163 | |
| 14 | 10 | 136 ± 15 | 29 ± 12 | 165 | 24 ± 6,7 |
| 15 | 8 | 135 ± 17 | 30 ± 16 | 164 | 18 ± 4,4 |
| GD0,05 | | 34 | 18 | | 6 |
| GD0,01 | | | 22 | | 7 |

Variabilität entscheidende Faktor scheint die aufgenommene TS-Menge/kg KM zu sein. Zwischen beiden Parametern bestand eine straffe ($r = 0,82^{+++}$; Abb. 5) kurvilineare Beziehung, d.h. bei höheren TS-Aufnahmen pro Mahlzeit nahm der Chymusfluß relativ ab.

Der postprandiale Chymusfluß verlief bei den Rationen unterschiedlich (Abb. 6a-c). Nach ausschließlicher Getreidefütterung (Rationen 1, 2, 5, 6) bestand ein im Tagesverlauf gleichmäßiger Fluß, der jedoch bei erhöhter Futteraufnahme (Ration 3) in der 6. bis 9. Std. verstärkt war ($p < 0,06$, Abb. 6a). Wurden Hafer bzw. Mais in Kombination mit Heu gefüttert (Rationen 4 bzw. 9), so fielen signifikant erhöhte Flußraten in der 2. Std. (9) bzw. in der 4. und 6. Std. (4) auf (Abb. 6b). Vor allem bei den Rationen mit Kartoffeln und Maniok, aber auch bei den Maissilagen setzte gleich nach der Mahlzeit ein hoher Fluß ein, der im Laufe des Tages kontinuierlich zurückging (Abb. 6c); der postprandiale Chymusfluß korrelierte dabei negativ mit dem Abstand von der letzten Fütterung ($r = -0,78^{++}$ bei den Maissilagen, $r = -0,92^{+++}$ bei Kartoffeln/Maniok).

Der jejunioleale Wasserfluß war im Mittel um 5–7% geringer als der Chymusfluß (aufgrund der TS-Gehalte im Chymus, siehe Tab. 2), so daß auf eine gesonderte Darstellung verzichtet werden kann.

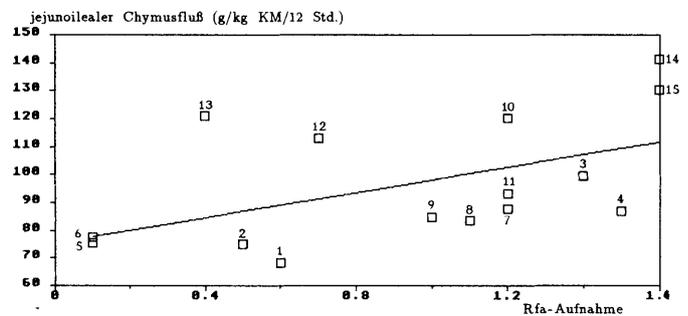


Abb. 4: Beziehung zwischen Rfa-Aufnahme (x ; g/kg KM/12 Std.) und jejuniolealem Fluß (y ; g/kg BW/12 h). Die Zahlen geben die Rationsnummern an.

Relationship between crude fiber intake (x ; g/kg BW/12 h) and jejunoileal flow (y ; g/kg BW/12 h). The figures are related to the number of the ration (see table 1)

$y = 75,6 + 22,6 x$, $r = 0,51^+$, $n = 15$

Tab. 4: Täglicher¹ jejunoilealer Elektrolytfluß sowie praeileale Nettobewegungen der Elektrolyte (mg/kg KM)

Daily flow of electrolytes from the jejunum to the ileum as well as net flux of the electrolytes (mg/kg BW/12 h).

| Ration | n | Elektrolytfluß | | | Nettobewegungen ² | | |
|--------|----|----------------|-----|-----|------------------------------|------|------|
| | | Na | K | Cl | Na | K | Cl |
| 3 | 8 | 544 | 236 | 81 | -531 | -58 | -27 |
| 4 | 8 | 671 | 293 | 184 | -651 | -125 | -126 |
| 12 | 8 | 563 | 70 | | -479 | +16 | |
| 13 | 8 | 720 | 69 | | -634 | -3 | |
| 14 | 10 | 755 | 261 | 209 | -687 | +91 | -127 |
| 15 | 8 | 685 | 241 | 134 | -643 | +67 | -58 |

1) auf 24 Std. hochgerechnet aus 12 Std. Beobachtungen.

2) - = Nettosekretion, + = Nettoabsorption

Jejunoilealer Elektrolytfluß

Die für 6 Rationen ermittelten jejunoilealen Elektrolytflußraten (Tab. 4) ergaben für Natrium ein weitgehend einheitliches Bild mit täglichen Mengen von 550–750 mg/kg, Beim Kalium zeigte sich entsprechend den unterschiedlichen Gehalten im Chymus (Tab. 3) eine größere Variation (85–300 mg/kg KM/Tag), während für Chlorid eine tägliche jejunoileale Flußrate von rd. 150 mg/kg KM errechnet wurde.

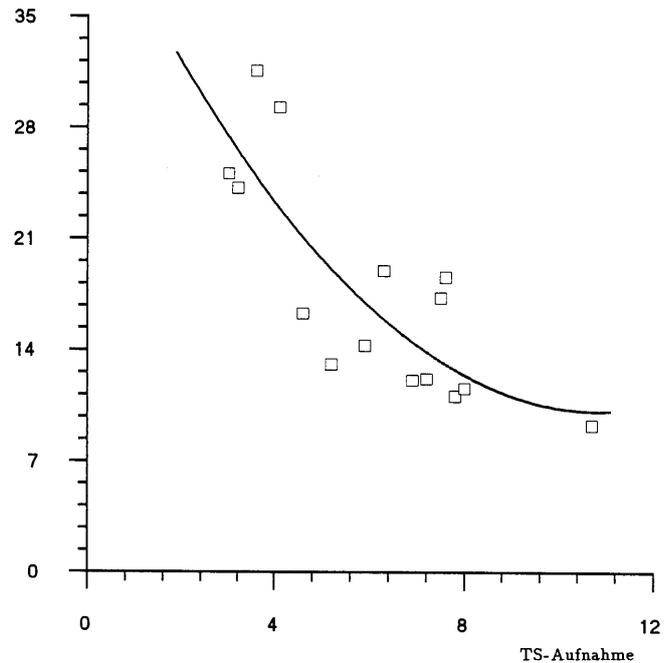
Diskussion

Die ermittelten halbtäglichen Chymusflußraten lagen teilweise deutlich höher, als sie in früheren Untersuchungen bei caecumfistulierten Pferden gemessen wurden (Meyer, 1992). Die Ursache ist zum einen in einer möglicherweise unvollständigen Chymusgewinnung aus der Ileumöffnung via Caecumfistel bei den früheren Experimenten zu suchen. Andererseits kann nicht ausgeschlossen werden, daß bei dem längeren Stau des Chymus im Ileum (Muuß et al., 1982) dort bereits Wasser absorbiert wurde. Schließlich können auch spezifische Einflüsse der verwendeten Futtermittel (s. u.) diesen Unterschied mitbedingt haben.

Der jejunoileale Chymus(Wasser)-Fluß speist sich aus der Trinkwasseraufnahme, vor allem aber aus der Sekretion von Speichel, Magen- und Pankreassaft sowie der Galle. Er wird weiterhin von der Höhe der praeilealen Wasserabsorption bestimmt. Die Wasseraufnahme wurde nicht gemessen, liegt aber nach früheren Beobachtungen (Heilemann, 1985) in der Regel zwischen 2,9 und 3,3 kg/kg Futter-TS und damit erheblich niedriger als der Chymusfluß mit 9 bis 32 kg/kg Futter-TS (Tab. 2).

Die Trinkwasseraufnahme ist somit von untergeordneter Bedeutung, kann aber in Einzelfällen Einfluß nehmen. So stieg z.B. bei einem Pferd mit der Angewohnheit, in der zweiten Tageshälfte viel zu trinken, ca. 1–2 Stunden später der Chymusfluß bei gleichzeitig abnehmendem TS-Gehalt im Chymus kurzfristig an. Bei weitgehend entleertem Magen wird somit Trinkwasser – in großer Menge aufgenommen – rasch den Dickdarm erreichen. Die größte Flüssigkeitsmenge im Chymus stammt zweifellos aus den Verdauungssekreten, deren Menge bei üblicher

Die Zahlen geben die Rationsnummern an.

**Abb. 5:** Beziehung zwischen TS-Aufnahme (x; g/kg KM/12 Std.) und jejunoilealem Chymusfluß pro kg aufgenommener Trockensubstanz (y)

Relationship between DM intake (x; g/kg BW/12 h) and jejunoileal flow of chyme per kg DM intake (y)

$$y = 42,2 - 6,1 x + 0,3 x^2, r = 0,82^{+++}, n = 15$$

Fütterung auf 200–300 ml/kg KM/Tag geschätzt wird (Alexander und Hickson, 1970; Meyer, 1992).

Die Höhe der TS-Aufnahme war offenbar nicht für die Chymusflußmenge (bezogen auf die KM) bestimmend, obwohl davon eine sekretionssteigernde Wirkung erwartet werden kann. Die fehlende straffe Beziehung mag einmal an der Heterogenität der verwendeten Rationen liegen, die den erwarteten Einfluß überdeckte, andererseits deutet sich in Abbildung 1 an, daß evtl. die gebildete Sekretmenge nicht proportional mit der aufgenommenen TS-Menge angestiegen ist. Dieser Effekt, der bei Untersuchungen über die Höhe der Speichelsekretion in Abhängigkeit von der Futtermenge sicher nachgewiesen wurde (Meyer et al., 1986), zeigt sich auch bei den postprandialen Verläufen der TS-Gehalte im Chymus (Abb. 2). Bei den Rationen mit hoher TS-Aufnahme (Rationen 3 und 11, Tab. 1) lagen die TS-Gehalte unmittelbar nach der Fütterung extrem hoch.

Von der aufgenommenen Rfa-Menge ging – wie auch in früheren Untersuchungen beobachtet (Meyer et al., 1982a) – ein positiver Einfluß auf den Chymusfluß aus (Abb. 4). Dabei ist zunächst überraschend, daß bei Rationen mit Heu, das mit Sicherheit die Speichelsekretion stark fördert (Meyer et al., 1986), der stimulierende Effekt geringer blieb als nach Zulage von Grünmehl, dessen starke speichel- und magensaftanregende Wirkung allerdings schon in früheren Untersuchungen (Meyer et al., 1975) auffiel. Über einen weiteren den Chymusfluß bestimmenden Faktor, die praeileale Wasserabsorption, die nach vorläufigen Schätzungen

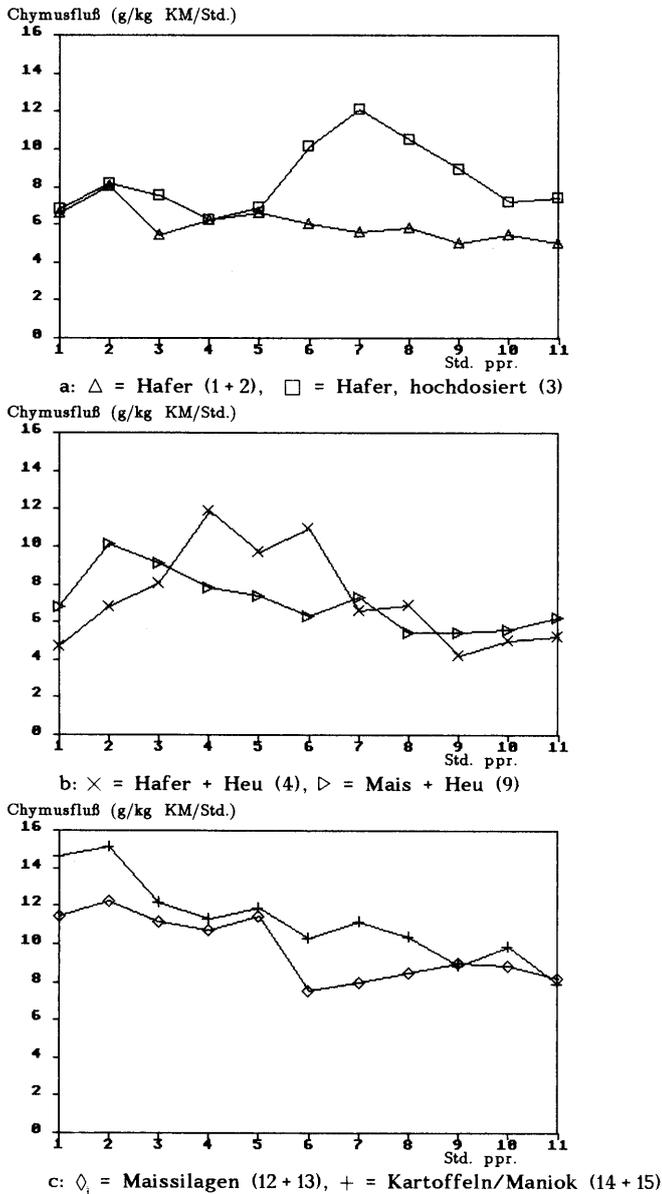


Abb. 6: Chymusfluß (g/kg KM/Std.) im postprandialen Verlauf
Postprandial chyme flow (g/kg BW/h)

bis zu 50% der zufließenden Menge aus machen kann (Meyer, 1992), sind allenfalls Hinweise möglich. So könnten bei den Maissilagerationen (12/13) wasserbindende bzw. osmotisch wirksame Teilbauprodukte der Stärke, evtl. auch organische Säuren die Wasserabsorption beeinträchtigt und den im Vergleich zur Rohfaseraufnahme hohen Chymusfluß verursacht haben (Abb. 4). Bei der hochverdaulichen Haferstärke und den stark lignifizierten Haferspelzen ist eine derartige Wasserbindung weniger wahrscheinlich. Die kurvilineare Beziehung zwischen Chymusfluß pro kg Futter-TS und aufgenommener TS-Menge (Abb. 5) erklärt sich einerseits aus der kontinuierlichen Sekretion (Magen, Pankreas, Galle) auch bei sistierender Futteraufnahme, andererseits aus der bereits erwähnten unterproportionalen Steigerung der Sekretion mit zunehmender Futtermenge, die auch in früheren Untersuchungen beobachtet wurde (Meyer et al., 1982b).

Unabhängig von der Höhe der Futterraufnahme (s.o.) wird der postprandiale Verlauf der TS-Gehalte im Chymus auch von der Geschwindigkeit der Futterraufnahme und Magenentleerung sowie der praeilealen Verdauung und Wasserabsorption bestimmt. Während der signifikante Anstieg in der 2. Std. ppr. (Rationen 13 und 14, Abb. 2) offenbar auf einer raschen Futterraufnahme beruhte, läßt sich der starke Abfall bei der Maniokration (im Vergleich zur Kartoffelfration, Abb. 2c) nicht befriedigend erklären.

Auch die Faktoren, die für die postprandialen Verläufe der Chymusflußmengen verantwortlich sind, lassen sich anhand der eigenen Versuchsdaten nicht sicher interpretieren. Neben der Geschwindigkeit der Futterraufnahme und der Magenentleerung (die nach früheren Beobachtungen bei stark zerkleinertem Rauhfutter schneller als bei Langheu ist, Meyer et al., 1975), können die Stimulation der Verdauungssekrete, die Wasseraufnahme, die Höhe der praeilealen Verdaulichkeit sowie der Umfang der Wasserabsorption im Dünndarm diese Verläufe beeinflussen.

Der auffallende, allerdings nicht signifikante Anstieg des Chymusflusses in der 6.–8. Std. ppr. nach hoher Haferaufnahme (Ration 3, Abb. 6a) könnte Folge des in dieser Zeit stark erhöhten Laktatgehaltes sein (Meyer und Landes, 1994), während der Anstieg nach Heuzulage (Rationen 4 und 9, Abb. 6b) eher auf eine verstärkte Sekretion in Kombination mit einer längerdauernden Futterraufnahme (bis zu 5 Std.) beruhen dürfte. Nach Hafer-Heu-Fütterung waren rd. 3 Std. später die ersten Heupartikel im Chymus erkennbar. Die hohen Anfangsflußraten bei den Rationen 12–15 (Abb. 6c) können das Ergebnis der oben erwähnten starken Sekretionsförderung durch Grünmehl sein. Bei diesen Rationen dauerte die Futterraufnahme zwischen 0,5 und 5 Stunden.

Die Na-Konzentrationen im Chymus bestätigen frühere Befunde (Alexander, 1962; Meyer et al., 1982a; Lindner et al., 1984), wonach ein weitgehendes Gleichgewicht zur Blutplasmakonzentration besteht, eine marginale Na-Versorgung jedoch die Na-Konzentration im Chymus bei kompensatorischer Erhöhung der K-Konzentration absenkt.

Die inverse Beziehung zwischen Na- und K-Konzentration (die, wie ein Vergleich der Gehalte bei den Rationen 3/4 und 14/15 zeigt, nicht von der Höhe der K-Aufnahme determiniert wird; Abb. 3b) ist die Folge einer verstärkten Aldosteronabgabe, die ähnlich wie bei Wiederkäuern (Pfeffer, 1966) auch bei Pferden Veränderungen im Na- und K-Gehalt der Verdauungssekrete bewirkt (Alexander und Hickson, 1970). Durch diese Regulation wird eine relativ große Konstanz in der Summe der Na-K-Ionen (Tab. 3), die für die Erhaltung der Osmolalität im Chymus wichtig sind, erreicht. Die auffällige Reduktion der K-Konzentration im Chymus während der Kartoffel- und Maniokfütterung in der zweiten Tageshälfte (bei gleichzeitigem Anstieg der Na-Gehalte, Abb. 3 a/b) könnte auf einer Abnahme der vermutlich unmittelbar ppr. erhöhten Aldosteronbildung (sehr hohe K-Aufnahmen, Tab. 1) beruhen.

Die bis zum Ende des Dünndarms bestehende hohe Nettosekretion des Natriums (10–30fach höherer Fluß als die Aufnahme) bestätigt frühere Untersuchungsergebnisse

beim Pferd (Meyer et al., 1982a), während die dort beschriebene relativ hohe praecaecale K-Nettoabsorption (50–75%) in der vorliegenden Untersuchung z.T. nicht nachgewiesen werden konnte (Tab. 4). Diese Unterschiede können einerseits durch Chymusverluste bei der caecalen Sammlung (s.o.) bedingt sein, andererseits auch durch eine in den vorliegenden Untersuchungen nicht erfaßte mögliche K-Absorption im Ileum.

Die durchschnittliche Cl-Konzentration im Chymus lag in einer ähnlichen Größenordnung, wie von Coenen (1991) beschrieben. Die signifikant niedrigeren Gehalte in Ration 3 gegenüber 4 (Tab. 3) bei gleichhoher Aufnahme und einer bei Ration 3 vermutlich höheren Magensaftsekretion deuten auf eine verstärkte Absorption hin, die im Zusammenhang mit den bei der hochdosierten Ration (3) signifikant niedrigeren pH-Werten (5. Std. ppr. 6,62 gegenüber 7,15 bei Ration 4, Illenseer, 1994) stehen könnte (erhöhte Bicarbonatsekretion?, Rechkemmer, 1992).

Der postprandiale Verlauf der Cl-Konzentration im Chymus (Abb. 3c) unmittelbar nach der Fütterung steht vermutlich mit der Sekretion des Cl-reichen Magensaftes im Zusammenhang, die Zunahme in der späten postprandialen Phase evtl. mit einer abnehmenden Säurebildung (ansteigender pH-Wert) und entsprechend geringerer Bicarbonatsekretion und Cl-Absorption.

Die bis zum Ende des Jejunums bestehende Nettosekretion von Chlorid bestätigt frühere Beobachtungen von Coenen (1991), war jedoch ausgeprägter als bei den dort verwendeten heureichen Rationen, bei denen geringere postprandiale Fluktuationen der pH-Werte im Chymus auftraten (Meyer und Landes, 1994).

Der tägliche jejunoileale Cl-Fluß lag mit rd. 150 mg/kg KM in einem ähnlichen Bereich, wie von Argenzio et al. (1974) bzw. Argenzio und Stevens (1975) für den ileocaecalen Fluß berechnet (rd. 200 mg/kg KM).

Der tägliche jejunoileale Wasserfluß (im Mittel ca. 100 kg/500 kg KM) entspricht fast dem Wasserbestand des extrazellulären Raumes (Coenen, 1991) und erklärt die schwerwiegenden Folgen bei Passage- oder Absorptionsstörungen. Bei einem Ileus im Dünndarmbereich entsteht eine rasche Wasser- und Na-Sequestrierung in dem oral liegenden Teil des Verdauungskanals (einschließlich des Magens) mit schneller Exsiccose des Gesamtkörpers. Andererseits geben die erheblichen jejunoilealen Wasser- und Elektrolytflüßmengen (selbst wenn im Ileum davon noch etwas absorbiert wird) eine Vorstellung, welche Verluste unter Umständen auftreten können, wenn die Resorptionsfähigkeit des Dickdarms nachhaltig gestört ist (z.B. bei einer Typhlocolitis).

Literatur

- Alexander, F. (1962): The concentration of certain electrolytes in the digestive tract of the horse and pig. Res. vet. Sci. 3, 78-840
- Alexander, F. and Hickson, J.C.D. (1970): The salivary and pancreatic secretions of the horse in: Phillison, A.T. (Hrsg.): Physiology of digestion and metabolism in the ruminant. Newcastle upon Tyne, England, Oriel, S. 375–389
- Argenzio, R.A., Loewe, J.E., Pickard, D.W. and Stevens, C.E. (1974): Digesta passage and water in the equine large intestine. Am. J. Physiol. 226, 1035–1041
- Argenzio, R.A. and Stevens, C.E. (1975): Cyclic changes in ionic composition of digesta in the equine intestinal tract. Am. J. Physiol. 228, 1224–1230
- Coenen, M. (1991): Chloridhaushalt und Chloridbedarf des Pferdes. Hannover, Tierärztl. Hochschule, Habilitationsschrift
- Gerhard, H., Radicke, S. und Hipp, K. (1991): Anlage, Pflege und Nutzung von Dünndarmfisteln bei Ponys. Pferdeheilkunde 5, 243–248
- Heilemann, M. (1985): Das Wasseraufnahmeverhalten von Pferden in Abhängigkeit von Fütterung und Leistung. Vet.-med. Diss. Hannover
- Illenseer, M. (1994): Praeileale Verdaulichkeit von Hafer-, Kartoffel- und Maniokrationen beim Pferd. Vet.-med. Diss. Hannover
- Lindner, A., Schmidt, M., Meyer, H. und Teleb, H.M. (1984): Veränderung des intestinalen sowie intermediären Wasser- und Elektrolytstoffwechsels bei Pferden mit chronischem Na-Mangel. Z. Tierphysiol. Tierernährg. Futtermittelk. 52, 155–170
- Meyer, H. (1992): Intestinaler Wasser- und Elektrolytstoffwechsel des Pferdes. Übers. Tierernährg. 12, 251–272
- Meyer, H., Ahlswede, L. und Reinhard, H.J. (1975): Untersuchungen über Freßdauer, Kaufrequenz und Futterzerkleinerung beim Pferd. Dtsch. tierärztl. Wochenschr. 82, 54–58
- Meyer, H., Muuß, H., Güldenhaupt, V. und Schmidt, M. (1982a): Intestinaler Wasser-, Natrium- und Kaliumstoffwechsel beim Pferd. Fortschr. Tierphysiol. Tierernährg., Verlag Parey, Hamburg, Berlin, Heft 13, 52–60
- Meyer, H., Lindemann, G. und Schmidt, M. (1982b): Einfluß unterschiedlicher Mischfüttergaben pro Mahlzeit auf prae- und postileale Verdauungsvorgänge beim Pferd. Fortschr. Tierphysiol. Tierernährg., Verlag Parey, Hamburg, Berlin, Heft 13, 32–39
- Meyer, H., Coenen, M. und Probst, D. (1986): Futtereinspeichelung und -passage im Kopfdarm des Pferdes. Z. Tierphysiol. Tierernährg. Futtermittelk. 56, 171–183
- Meyer, H. und Landes, E. (1994): Beobachtungen über den Gehalt an anorganischen Säuren und den pH-Wert im Jejunal- und Ileumchymus bei Pferden. Pferdeheilk. 10, 381–392
- Muuß, H., Meyer, H. und Schmidt, M. (1982): Entleerung und Zusammensetzung des Ileumchymus beim Pferd. Fortschr. Tierphysiol. Tierernährg., Verlag Parey, Hamburg, Berlin, Heft 13, 13–23
- Pfeffer, E. (1966): Zur Beurteilung der K/Na-Verhältnisse im Futter der Nutztiere. Dtsch. tierärztl. Wochenschr. 73, 56–61
- Rechkemmer, G. (1992): Regulation of electrolyte absorption and secretion in the large intestine. Fortschr. Tierphysiol. Tierernährg., Verlag Parey, Hamburg, Berlin, Heft 22, 101–110
- Rottmann, J. (1994): Untersuchungen zur Verdaulichkeit (insgesamt und praeileal) von Maissilage und Maiskolbensilage beim Pferd. Vet.-med. Diss., Hannover
- Schuhknecht, A. und Schinkel, H. (1963): Universalvorschrift für die Bestimmung von Kalium, Natrium und Lithium nebeneinander. Z. Anal. Chem. 194, 176–183
- Umland, S. (1993): unveröffentlicht
- Wilke, S. (1992): Zur praeilealen Verdaulichkeit von Hafer und Mais verschiedener Zubereitungen beim Pferd. Vet.-med. Diss. Hannover

Prof. Dr. Dr. h.c. H. Meyer
Dr. M. Illenseer
Dr. Simone Radicke

Institut für Tierernährung
Tierärztliche Hochschule Hannover
Bischofsholer Damm 15
30173 Hannover

Tel. 0511/856-7466
Fax 0511/856-7698