

Calcium- und Magnesiumabsorption bei Rauhfutter oder Mischfutter

B. Stadermann, T. Nehring und H. Meyer

Institut für Tierernährung,
Tierärztliche Hochschule Hannover

Schlüsselwörter: Calcium, Magnesium, scheinbare Verdaulichkeit, Rationstyp

Um Pferde bedarfsgerecht mit Calcium und Magnesium zu versorgen, sind zuverlässige Kenntnisse über die Absorption dieser Elemente notwendig. Von verschiedenen Autoren erhobene Daten deuten auf einen systematischen Einfluß der Futterart (Rauhfutter oder Mischfutter) auf die Höhe der renalen Ca-Exkretion hin (Meyer et al., 1990), möglicherweise bedingt durch unterschiedliche intestinale Absorptionsraten. In der vorliegenden Untersuchung sollten daher die genannten Effekte experimentell überprüft sowie weitere Erkenntnisse über die Lokalisation der Ca-Absorption bzw. -sekretion im Darmkanal und über mögliche zugrundeliegende Mechanismen gewonnen werden.

Material und Methoden

In Teil I der Untersuchungen wurden Versuche mit 6 intakten Ponystuten (149 - 225 kg KM) durchgeführt (Tab. 1).

Die Tiere erhielten 2mal täglich Luzerneheu bzw. ein kommerzielles, pelletiertes Mischfutter (Tab. 2; 17 g uS/kg KM/d) mit einer Mineralstoffergänzung (CaCO₃ und/oder Di-CaHPO₄). Das Futter wurde mit einem Marker (Cr₂O₃, 0,25 %) gemischt und post mortem aus der Relation Marker-/Mineralstoffkonzentration die praecaecale scheinbare Verdauung sowie die Nettoabsorption bzw. -sekretion von Calcium und Magnesium in einzelnen Abschnitten des Verdauungskanals berechnet. Zur Bestimmung der gesamten scheinbaren Verdaulichkeit wurden - nach einer 14tägigen Adaptationsphase - 7tägige Verdauungsbilanzen durchgeführt (Kollektions- und Markermethode). Neben den Chymus- und Kotparametern (Mineralstoffe, pH) wurde auch die renale Ca- und Mg-Exkretion sowie der Plasmaspiegel dieser Elemente erfaßt.

Für ergänzende Untersuchungen zum intestinalen Ca-Stoffwechsel (Teil II und III) standen darmfistulierte Pferde zur Verfügung.

In Teil II der Untersuchungen wurde bei insgesamt 4 jejunumfistulierten Ponys die Konzentration ionisierten,

Zusammenfassung

In einem Versuch mit 6 intakten Ponys wurde der Einfluß der Futterart (Rauhfutter/Mischfutter) auf die scheinbare Verdaulichkeit von Calcium (Aufnahme: 278 bzw. 312 mg/kg KM/d) und Magnesium (Aufnahme: 24 bzw. 27 mg/kg KM/d) geprüft. Sowohl die gesamte als auch die praecaecale scheinbare Verdaulichkeit von Calcium und Magnesium (bestimmt post mortem) lag bei Fütterung von Luzerneheu (Ca: ges. 48,3 %, praecaecal 49,8 %; Mg: 51,3 % bzw. 44,0 %) signifikant höher als bei der Mischfütterration (Ca: 14,1 % bzw. 18,9 %; Mg: 30,6 % bzw. - 2,2 %). In ergänzenden Untersuchungen mit jejunumfistulierten Pferden zeigte sich kein futtertypspezifischer Einfluß auf den Anteil ionisierten Calciums am Gesamtcalcium im Dünndarmchymus (rd. 0,2 mmol/l). Die renale Ca-Exkretion nach einer intracaecalen Ca-Infusion (100 mg Ca/kg KM/d) lieferte keinen Hinweis auf eine Ca-Nettoabsorption im Dickdarm.

Ca and Mg absorption with roughage or mixed feed

In an experiment with 6 intact ponies the influence of ration type (roughage/mixed feed) on the apparent digestibility of calcium (intake: 278 or 312 mg/kg BW/d, resp.) and magnesium (intake: 24 or 27 mg/kg BW/d, resp.) was tested. The total as well as the prececal apparent digestibility of calcium and magnesium (determined post mortem) were significantly higher with alfalfa hay (Ca: total 48,3 %, prececal 49,8 %; Mg: 51,3 % and 44,0 % resp.) than with concentrate (Ca: 14,1 % and 18,9 %, resp.; Mg: 30,6 % and - 2,2 %, resp.). Supplemental investigations with jejunal fistulated horses showed no influence of type of feed on the part of calcium in ionized form in chyme (about 0.2 mmol/l). No increase in renal Ca output due to an intracaecal Ca infusion (100 mg Ca/kg BW/d) could be recognized, indicating that no Ca net absorption in the large intestine occurred. Key words: Calcium, magnesium, apparent digestibility, type of diet.

freien Calciums im partikelfreien Überstand des Jejunumchymus während Fütterung einer Getreide/Grünmehlration (Ca-Aufnahme 260 mg/kg KM/d; Ca/P 4,5 : 1) bzw. Getreide/Heuration (Ca-Aufnahme 88 mg/kg KM/d; Ca/P 1,8 : 1; Anteil der Rationskomponenten jeweils rd. 50 %) bestimmt. Dabei wurde in stündlichen Intervallen bis zur 11. h ppr. jeweils 15 min/h spontan abfließender Chymus gesammelt.

Die Bedeutung des Dickdarms für eine mögliche Ca-Absorption wurde in einem weiteren Versuchsansatz (Teil III) bei 2 caecumfistulierten Großpferden untersucht. Bei Fütterung einer Ca-armen Heuration (Ca-Aufnahme 39 mg/kg KM/d) wurden an 2 Tagen über einen Zeitraum von jeweils 10 h kontinuierlich (während der 2. - 11. h ppr.) mit einer im Elektrolytgehalt dem Chymusmilieu adaptierten Ca-Pufferlösung (300 mosm/l; 2,2 g Ca/l) 100 mg Calcium/kg KM/d intracaecal infundiert. Die renale Ca-Exkretion wurde mit der einer Kontrollperiode verglichen.

Analytisch wurden Gesamtcalcium und Magnesium mittels Atomabsorptionsspektrographie, ionisiertes Calcium mit ionensensitiver Elektrode bei gleichzeitiger pH-Wert-Messung (ISE-Analyzer 987 S, Fa. AVL, Bad Homburg) und Chrom nach Petry und Rapp (1970) bestimmt.

Die Ergebnisse sind als Mittelwert ± Standardabweichung angegeben und wurden statistisch mittels t-Test nach Stu-

dent ausgewertet (signifikante Mittelwertsdifferenzen $p < 0,001^{***}$, $p < 0,01^{**}$, $p < 0,05^*$).

Ergebnisse

Die scheinbare Verdaulichkeit des Calciums lag – insgesamt sowie praecaecal – bei Rauhfuttergabe signifikant höher als bei Mischfutter (Tab. 3). Die Differenzen zwischen praecaecaler und gesamter Verdaulichkeit sind – insbesondere bei der Luzerneheuration – gering, dennoch deuten die Post-mortem-Untersuchungen an verschiedenen Darmlokalisationen (Abb. 1) auf eine geringe Ca-Nettosekretion im Caecum (beide Futterarten) und Colon ascendens (Rauhfutter) hin (Abb. 1).

Die scheinbare Verdaulichkeit des Magnesiums zeigte sich in ähnlicher Weise von der Futterart beeinflusst wie die des Calciums (Tab. 3). Die höchsten Absorptionsraten wurden ebenfalls für den praecaecalen Bereich ermittelt (Abb. 1). Im proximalen Dünndarm bestand – insbesondere bei Heufütterung – eine Mg-Nettosekretion, im distalen Dünndarm (distales Jejunum, Ileum) dagegen – wiederum besonders ausgeprägt bei Rauhfuttergabe – eine Nettoabsorption. Praecaecal resultieren bei Luzerneheu eine positive, bei Mischfutter eine schwach negative scheinbare Mg-Verdaulichkeit.

Die im Versuch II mit jejunumfistulierten Pferden ermittelten Konzentrationen an ionisiertem freiem Calcium im partikelfreien Überstand des Jejunumchymus lagen mit $0,20 \pm 0,10$ und $0,18 \pm 0,08$ mmol/l bei Ca-Aufnahmen von 260 bzw. 88 mg/kg KM/d in ähnlicher Größenordnung und stellten einen Anteil von 10 bzw. 15 % des Gesamtcalciums im Chymus dar.

Nach intracaecaler Ca-Infusion (100 mg Ca/kg KM/d; Versuch III) erhöhte sich die renale Ca-Exkretion unwesentlich ($15,1 \pm 7,7$ mg/kg KM/d) gegenüber einer Kontrollperiode ($14,6 \pm 6,5$ mg/kg KM/d).

Diskussion

Die in den Verdauungsversuchen festgestellte signifikant höhere scheinbare Verdaulichkeit des Calciums während der Rauhfutter- im Vergleich zur Mischfutterperiode bestätigt frühere Beobachtungen. Die Auswertung bisher vorliegender Verdauungsversuche (mit Ca-Aufnahmen > 100 mg/kg KM/d, um den Einfluß der endogenen faecalen Ca-Ausscheidung als Unsicherheitsfaktor zu minimieren; $n = 22$, Nebring, 1991) zeigt eine signifikant – um durchschnittlich 19 % – höhere scheinbare Verdaulichkeit von Calcium bei Rauhfutterrationen gegenüber Kraftfutter.

Tab. 1: Versuchsanstellung (Teil I)

Rationstyp	Mineralstoff-Supplementation	Aufnahme (mg/kg KM/d)				Tiere (n)
		Ca	P	(Ca/P)	Mg	
– Rauhfutter ¹	+ Di-CaHPO ₄ +2H ₂ O	278 [37] ²	60 [28] ²	(4,6:1)	24	(6)
– Mischfutter	+ Di-CaHPO ₄ +2H ₂ O/CaCO ₃	312 [59] ²	89 [28] ²	(3,5:1)	27	(6)
Post-mortem-Untersuchungen ³ nach Rauhfutter (n = 3) bzw. Mischfutterfütterung (n = 3)						

¹Luzerneheu; ²aus Supplementen; ³Chymusanalysen zur Bestimmung der praecaecalen sV von Ca u. Mg

Tab. 2: Zusammensetzung der Versuchsfutter (g/kg TS)

	TS (g/kg uS)	Ra	Rp	Rfa	Rfe	Ca	Mg	P	Na	K	Cl
Luzerneheu ¹⁾³⁾	843,0	90,6	162,3	310,7	15,1	16,6	1,7	2,2	0,9	19,5	2,3
Mischfutter ²⁾⁴⁾⁵⁾	907,5	92,7	123,0	169,6	18,5	16,7	1,8	4,0	3,4	14,3	6,3

Vitamin D₂ bzw. D₃ (I.E./kg uS): ¹500–1000 (DLG 1984); ²2000 (Herstellerangabe)

Phytat-P (g/kg TS): ³0,12; ⁴1,98 (Bestimmung nach Harland und Oberleas, 1986);

⁵Komponenten (%): Grasgrünmehl (16); Weizenkleie (12); Gerste (10); Haferkleie (9); Zuckerrübenmelasse (8); Trockenschnitzel (7); Malzkeime (6); Luzernegrünmehl (5,3); Mais (5); Hafer (5); Bohnen, dampferh. (4); Apfeltrester (4); Leinextr. Schrot (3); Vormischung (2,5); Sojaextr. Schrot, dampferh. (2); CaCO₃ (1,2); Zusatzstoffvormischung

Tab. 3: Scheinbare Verdaulichkeit (praecaecal² und gesamt¹, %) von Ca und Mg

Rationstyp	Ca		Mg	
	praecaecal	gesamt	praecaecal	gesamt
Rauhfutter	49,8 ± 6,4	48,3 ± 6,8	44,0 ± 13,1	51,3 ± 14,3
Mischfutter	18,9 ± 15,4	14,1 ± 10,4	-2,2 ± 23,7	30,6 ± 8,6
Δ	30,9*	34,2**	46,2*	20,7***

¹gesamte sV n = 6 Tiere; ²praecaecal n = 3

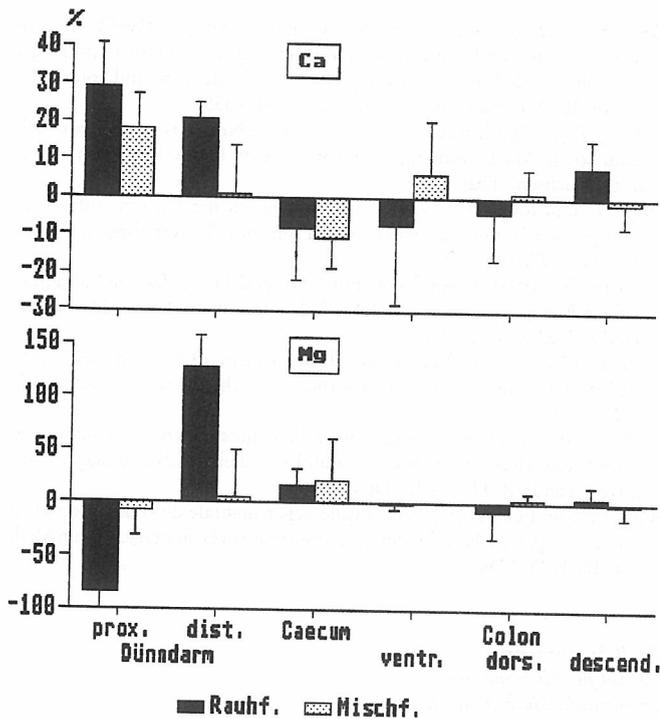


Abb. 1: Nettoabsorption bzw. -sekretion (%) von Calcium (oben) und Magnesium (unten), bezogen auf den Ca- bzw. Mg-Gehalt des vorhergehenden Darmabschnittes.

Die in vorliegender Untersuchung festgestellten Verdaulichkeitsunterschiede spiegeln sich auch in gleichzeitig erhobenen Daten zum Plasma-Ca-Spiegel (Tagesmittel: Luzerne $3,53 \pm 0,26$; Mischfutter $3,01 \pm 0,25$ mmol/l; $n = 15$) und zur renalen Ca-Exkretion wider: Während bei Heufütterung 56 % des aufgenommenen Calciums/12 h über den Harn ausgeschieden wurden, waren es während der Mischfutterperiode nur 19 % (Schnurpel, 1991).

Calcium wird – wie die eigenen (Abb. 1), aber auch frühere Post-mortem-Untersuchungen (Schryver et al., 1970; Wolter und Gouy, 1976) zeigen – überwiegend im Dünndarm absorbiert.

Die einmalige postmortale Erhebung dieser Werte ist wegen möglicher Entmischungen des Markers zwar mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, doch In-vivo-Untersuchungen mit quantitativer Sammlung des Chymus (Teleb, 1984) sprechen ebenfalls für eine hohe praecaecale Ca-Absorption.

Im Dickdarm scheinen die Ca-Bewegungen gering zu sein, wie ältere Post-mortem-Untersuchungen (Schryver et al., 1970; Wolter und Gouy, 1976), aber auch die vorliegenden Infusionsversuche mit caecumfistulierten Tieren zeigen. Unabhängig von möglichen Sekretions- und Absorptionsvorgängen im Verlauf des Colons ist die Gesamt Nettoabsorption im Dickdarm offenbar unbedeutend.

Für die futtertypbedingten Unterschiede in der Höhe der praecaecalen Ca-Absorption können folgende Faktoren von Bedeutung sein:

- Bindungsart des Calciums,
- Ca/P-Verhältnis,
- Phytin- und Oxalsäuregehalt,

Vitamin D,
pH-Wert im Dünndarmchymus und
Löslichkeit der Ca-Verbindungen.

Die Bindungsform des Calciums spielt offenbar keine Rolle, denn der Anteil anorganischen Calciums lag in der Kraftfütterration höher als in der Heudiät. Das Ca/P-Verhältnis war bei Mischfutter zwar enger als im Luzerneheu (3,5 : 1 bzw. 4,6 : 1), doch war Calcium in deutlichem Überschuss vorhanden. Unter diesen Bedingungen ist, wie weitere Auswertungen zeigten (Nebring, 1991), kein nachhaltiger Effekt auf die Ca-Absorption zu erwarten. Dies gilt in gleicher Weise für den Einfluß der Phytinsäure, deren höherer Anteil in der Mischfütterration theoretisch allenfalls zu einer Ca-Bindung von 7 % geführt haben kann. Unterschiede im Oxalsäuregehalt, der nicht bestimmt wurde, waren bei den beiden Futtermitteln nicht zu erwarten. Auch Vitamin D, dessen Bedeutung für die Ca-Absorption beim Pferd noch unsicher erscheint (Harmeyer et al., 1992), kann nicht zur Erklärung der Unterschiede herangezogen werden, da die Gehalte im Mischfutter deutlich höher lagen als im Luzerneheu (Tab. 2). Unterschiede in der Löslichkeit des Calciums bei den beiden Rationstypen könnten z. B. aus unterschiedlich hoher Sekretion von Verdauungssäften (Speichel, Pankreassaft; Alexander und Hickson, 1970; Meyer et al., 1986) und/oder niedrigeren pH-Werten am Magenausgang nach Rauhfuttergabe (Kern et al., 1974) resultieren. Im Dünndarmchymus wurden jedoch sowohl post mortem (Versuch I: pH bei Luzerneheu 7,1, bei Mischfutter 6,3) als auch intravitam (Versuch II: pH im partikelfreien Überstand des Jejunumchymus bei heuhaltiger Ration 8,1, bei Grünmehl-gabe 7,7) höhere pH-Werte nach Heueinsatz gemessen. Es wurden dabei keine futtertypspezifischen Effekte auf den Anteil ionisierten Calciums im Dünndarminhalt festgestellt.

Insgesamt bleibt die Erklärung der beobachteten Unterschiede in der Ca-Absorption noch unbefriedigend. Möglicherweise kommt dem höheren intestinalen Wasserumlauf bei Rauhfutterfütterung (aufgrund der stärkeren Stimulation der Verdauungsssekrete) im Rahmen passiver Transportvorgänge („bulk flow“) die größte Bedeutung zu.

Für Magnesium zeichnen sich analoge Einflüsse der Futtermittelart ab, wie sie beim Calcium beobachtet wurden. Obwohl beim Rauhfutter in der proximalen Dünndarmhälfte – offenbar durch hohen Zufluß Mg-haltiger Verdauungsssekrete (Speichel 3,3 mg/dl, Coenen, 1986; Galle 0,8 – 1,4 mg/dl, Meyer et al., 1992, unveröffentl.) – eine deutlich höhere Mg-Nettosekretion ermittelt wurde, lag die scheinbare Verdaulichkeit – aufgrund einer hohen Nettoabsorption im distalen Dünndarm – sowohl praecaecal als auch insgesamt signifikant höher als bei der Mischfütterration. Die renalen Mg-Exkretionsraten (Luzerne 57%, Mischfutter 33 % der Aufnahme/12 h) und der Plasma-Mg-Spiegel bestätigen diese Befunde. Infolge dieser Verdaulichkeitsunterschiede zwischen den Futtermitteln lagen bei Luzerneheufütterung niedrigere Mg-Konzentrationen im Dickdarmchymus vor (24 g/kg TS; Colon dorsale) als nach Kraftfüttereinsatz (33 g/kg TS). Die mehrfach beschrie-

bene Disposition für Enterolithen (üblicherweise Struvitesteine) durch Luzerneheu (*Llyod, et al., 1987*) dürfte somit eher die Folge des höheren pH-Wertes in der magenähnlichen Erweiterung des dorsalen Colons (pH 6,5 bei Luzerneheu, 5,8 bei Mischfutter) als die einer hohen Mg-Konzentration im Chymus sein.

Literatur

- Coenen, M.* (1986): Beiträge zur Verdauungsphysiologie des Pferdes. 13. Mitt.: Verdaulichkeit und praecaecale Passage einer suspendierfähigen Diät in Abhängigkeit von der Applikationsform (Spontane Futteraufnahme bzw. flüssig per Sonde). *Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futtermittelkde.* 56, 104–117.
- DLG-Futterwertabelle für Pferde* (1984): 2. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- Harland, B. F., und Oberleas, D.* (1986): Anion-exchange method for the determination of phytate in foods: collaborative study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 69, 667–670.
- Harmeyer, J., Tweebues, R., und Schlumbohm, C.* (1992): Vitamin-D-Stoffwechsel bei unterschiedlichem Ca-Angebot und Vitamin-D-Status beim Pferd. *Pferdeheilkunde, Sonderheft*, 81–85.
- Kern, D. L., Slyter, L. L., Leffel, E. C., Weaver, J. M., und Oltjen, R. R.* (1974): Ponies vs. steers: Microbial and chemical characteristics of intestinal ingesta. *J. Anim. Sci.* 38, 559–564.
- Lloyd, K., Hintz, H. F., Wheat, J. D., und Schryver, H. F.* (1987): Enteroliths in horses. *Cornell Vet.* 77, 172–186.
- Meyer, M., Stadermann, B., Schnurpel, B., und Nebring, T.* (1990): Einfluß von Futterart und Fütterungszeitpunkt auf den Plasma-Ca-Spiegel sowie die renale Ca-Ausscheidung beim Pferd. Mengen- und Spurenelemente, 10. Arbeitstagung, Leipzig, Bd. 2, 348–355.
- Nebring, T.* (1991): Einfluß der Futterart auf die Nettoabsorption von Calcium sowie Magnesium und Phosphor beim Pferd. Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- Petry, H., und Rapp, W.* (1970): Zur Problematik der Chromoxidbestimmung in Verdauungsversuchen. *Z. Tierphysiol. Tierernährg. u. Futtermittelkde.* 27, 181–189.
- Schnurpel, B.* (1991): Einfluß von Futterart und Höhe der Ca-Aufnahme auf Ca-Blutspiegel und renale Ca-Exkretion beim Pferd. Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- Schryver, H. F., Craig, P. H., Hintz, H. F., Hogue, D. E., und Lowe, J. E.* (1970): The site of calcium absorption in the horse. *J. Nutr.* 100, 1127–1132.
- Teleb, H.* (1984): Untersuchungen über den intestinalen Ca-Stoffwechsel beim Pferd nach variierender Ca-Zufuhr und einer Oxalatzulage. Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- Wolter, R., und Gouy, D.* (1976): Etude expérimentale de la digestion chez les équidés par analyse du contenu intestinal après abattage. *Revue Méd. vét.* 12, 1723–1736.

Dr. B. Stadermann
Institut für Tierernährung
Tierärztliche Hochschule Hannover
Bischofsholer Damm 15
D-3000 Hannover 1