



Dieses PDF/A-Dokument wurde maschinell aus der
approbierten Originalversion erzeugt. Die Originalversion
finden Sie an der Universitätsbibliothek der
Veterinärmedizinischen Universität, Wien

AUS DEM DEPARTMENT FÜR ÖFFENTLICHES GESUNDHEITSWESEN IN DER VETERINÄRMEDIZIN

DER VETERINÄRMEDIZINISCHEN UNIVERSITÄT WIEN

(DEPARTMENTSPRECHER: O. UNIV. PROF. DR. MED. VET. T.ZT. JOSEF TROXLER)

FACH: ERNÄHRUNG

LITERATURÜBERSICHT ZUR CALCIUMABSORPTION UND
RENALEN AUSSCHIEDUNG
BEIM PFERD

BAKKALAUREATSARBEIT
ZUR ERLANGUNG DER WÜRDE EINER
BAKKALAUREA DER NATURWISSENSCHAFTEN

IM STUDIUM PFERDEWISSENSCHAFTEN AN
DER VETERINÄRMEDIZINISCHEN UNIVERSITÄT WIEN UND
DER UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN

VORGELEGT VON
CHARLOTTE FABER

WIEN, IM OKTOBER 2009

WISSENSCHAFTLICHE BETREUUNG:

A.o. Univ. Prof. Dr. med. vet. Christine IBEN
DEPARTMENT FÜR ÖFFENTLICHES GESUNDHEITSWESEN IN DER
VETERINÄRMEDIZIN
INSTITUT FÜR ERNÄHRUNG
VETERINÄRMEDIZINISCHE UNIVERSITÄT WIEN

1. BEGUTACHTER:

Univ.-Prof. Dr. Dr. med. vet. Reinhold G. Erben
DEPARTMENT FÜR BIOMEDIZINISCHE WISSENSCHAFTEN
INSTITUT FÜR PHYSIOLOGIE, PATHOPHYSIOLOGIE UND MEDIZINISCHE
PHYSIK
VETERINÄRMEDIZINISCHE UNIVERSITÄT WIEN

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATURÜBERSICHT.....	2
	a. ABSORPTION	
	1. Lokalisation der Absorption.....	2
	2. Transportmechanismus der Calcium Absorption	4
	3. Einflüsse auf die Calcium Absorption	7
	a. Aufnahme unterschiedlicher Calcium-Mengen.....	7
	b. Anorganisches Phosphat.....	9
	c. Phytat	10
	d. Oxalat	11
	e. Ca:P-Verhältnis	13
	f. Fette	14
	g. Magnesium	15
	h. Lysin und Laktose	16
	i. Vitamin D	17
	j. Alter.....	19
	k. Ca-Absorption aus verschiedenen Futtermitteln	20
	l. Weitere Einflüsse.....	21
	b. RENALE EXKRETION	
	1. Einflüsse auf die renale Calcium-Exkretion.....	22
	a. Calcium-Absorption	22
	b. Calcium-Aufnahme	23
	c. Anionen Kationen Bilanz	25
	d. Oxalsäure.....	26
	e. Vitamin D	27
	f. Calcium-Creatine Clearance.....	27
	g. Postprandiale Ausscheidung und Einfluss der Bewegung	29
	h. Aufnahme verschiedener Calcium- und Phosphormengen	32
	i. Magnesium	33
	j. Protein.....	33
	k. Glucocorticoide	34

III.	DISKUSSION	35
IV.	ZUSAMMENFASSUNG	42
V.	SUMMARY	43
VI.	LITERATURVERZEICHNIS	44
VII.	TABELLENANHANG	52

ABKÜRZUNGEN

25OHD ₃	Calcidiol
1,25-(OH) ₂ D ₃	Calcitriol
Abb.	Abbildung
Aufn.	Aufnahme
Bew.	Bewegung
Ca	Calcium
Ca ⁺⁺	ionisiertes Calcium
Ca/Cr	Calcium/Creatine Quotient
CaCl ₂	Calciumchlorid
CaCO ₃	Calciumcarbonat (Calcit)
CaBP	Calcium-bindendes Protein
Ca: P	Calcium/Phosphor Verhältnis
Ca (COO) ²	Calciumoxalat
Cr ₂ O ₃	Chromiumoxid
d	day (Tag)
dl	Deziliter
DCAB	dietary cation anion balance
DEB	Diätische Elektrolytbilanz
g	Gramm
h	hour (Stunde)
IE	Internationale Einheit
kg	Kilogramm
KM	Körpermasse
l	Liter
LUZ	Luzernenheu
MF	Mischfutter
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mEq	Milliequivalent
Na ⁺	ionisiertes Natrium
Nettoab.	Nettoabsorption
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
P	Phosphor
r	Korrelationskoeffizient
RF	Raufutter
Std. p.pr.	Stunde postprandial
Tab	Tabelle

I. Einleitung

Calcium und Phosphor sind hinsichtlich der Menge im Pferdekörper die wichtigsten Mengenelemente. Bis zu 7 kg Calcium und 4 kg Phosphor findet man bei mittelgroßen Pferden, davon befinden sich 99 % des Calciums und 80 % des Phosphors im Skelett (MÖHLENBRUCH et al., 1999). Die Verteilung weist auf die wichtige Aufgabe beider Elemente für Stabilität und Funktion des Knochengerüsts hin, des Weiteren sind sie für die Blutgerinnung, die Reizübertragung auf die Muskelfibrillen und für den Energiestoffwechsel in der Muskulatur unentbehrlich (MEYER u. COENEN, 2002). Der tägliche Bedarf an Calcium errechnet sich für Tiere, die im Erhaltungsstoffwechsel stehen, aus den unvermeidbaren Verlusten über Kot und Harn unter Berücksichtigung der Verwertung (Erhaltungsbedarf 25 g Ca/Tag/500 kg KM (GEH, 1994)). Bei Arbeitspferden kommt es zu einem geringen Mehrbedarf aufgrund zusätzlicher Ca-Verluste über den Schweiß, die empfohlene, tägliche Ca-Zufuhr liegt bei 28 g/Tag/500 kg KM. Bei graviden Stuten steigt der Bedarf im letzten Drittel der Gravidität merklich an (39 g/Tag/500 kg KM), da das Fohlen mit weitgehend mineralisiertem Skelett zur Welt kommt. Laktierende Stuten haben aufgrund der Mineralstoffabgaben über die Milch den höchsten Mehrbedarf an Calcium (55 g/Tag/500 kg KM), bei Fohlen ist der Bedarf an Calcium durch das Knochenwachstum im ersten Lebensjahr besonders hoch (39 g/Tag/500 kg KM adult). Die unterschiedlichen Calciumgehalte in den verschiedenen Futtermitteln und die Verwertbarkeit des Calciums aus diesen können stark variieren und müssen bei der Rationserstellung beachtet werden.

Im Vergleich zu anderen Spezies entfällt beim Pferd ein weit höherer Prozentsatz der Ca-Ausscheidung auf die Niere, welche ein wichtiges Regulationsorgan im equinen Calciumstoffwechsel ist. Zudem besteht eine enge Verbindung zwischen Ca-Absorption und Ca-Exkretion (BOEHNCKE u. SCHNEIDER, 1978).

Diese Besonderheiten des Calciummetabolismus beim Pferd geben Anlass den aktuellen Wissensstand im Bereich der Absorption und renalen Ausscheidung von Calcium darzulegen. Die vorliegende Literaturübersicht befasst sich zum einen mit dem Vorgang der Calciumabsorption, beleuchtet Absorptionsraten aus verschiedenen Futtermitteln und erörtert den Einfluss des Calcium/Phosphor-Verhältnisses und weiterer Variationsfaktoren welche die Calciumresorption beeinflussen können. Des Weiteren setzt sich die Arbeit mit der renalen Exkretion von Calcium auseinander, behandelt verschiedene Einflüsse, die auf die Ca-Ausscheidung wirken können und analysiert die Zusammenhänge zwischen Ca-Aufnahme, Absorption und urinaler Ca-Ausscheidung. Anhand der gesammelten Literaturdaten wird diskutiert, in welchen Bereichen die wissenschaftliche Fachliteratur bereits genügend gesicherte Daten aufweist bzw. auf welchen Gebieten noch weiterer Forschungsbedarf besteht. Da zwischen Calcium und Phosphor einige Interaktionen im Bereich der Absorption und Ausscheidung auftreten können wird an entsprechenden Stellen auch auf den Phosphorstoffwechsel eingegangen.

II. Literaturübersicht

a. Absorption

1. Lokalisation der Absorption

Bei Untersuchungen mit fistulierten Ponys führten SCHRYVER et al. (1970b) radioaktiv markiertes Calcium in den Magen und in das Caecum ein. Bei der intragastralen Gabe konnten 25 % des radioaktiv markierten Ca im Harn nachgewiesen werden, nach Gabe in das Caecum nur 1 % des aufgenommenen, radioaktiv markierten Calciums. Bei weiteren Untersuchungen an Schlachtpferden mit einem unabsorbierbaren Marker (Cr_2O_3) war der obere Teil des Dünndarms Ort der höchsten Absorption, im Dickdarm wurde nur wenig absorbiert, die Futterart und die aufgenommene Calciummenge aus dem Futter hatten keinen Einfluss auf den Ort der Absorption (SCHRYVER et al., 1970b; SCHRYVER, 1975; SCHRYVER et al., 1974a). FLOTHOW (1994) konnte nach der Markermethode eine praeileale Nettoabsorption von 60 bis 62 % feststellen.

Eine Schätzung der Menge des absorbierten Calciums konnte über die Unterschiede zwischen der kumulativen partiellen Absorption in angrenzenden Bereichen kalkuliert werden. SCHRYVER et al. (1970b) kamen dabei im oberen Teil des Dünndarms auf eine Nettoresorption von 40 % und im unteren Teil des Dünndarms auf 25 %. Die Resorptionsrate aus dem Dickdarm wurde auf 10 % geschätzt (s. Abb. 1).

Auch MEYER et al. (1982) berichten von einer praecaecalen Nettoresorption von 50-80 %, HINTZ (1975) schätzte die Nettoresorption im Dünndarm auf 95-99 %, im Dickdarm auf 1-5 %. Nach SCHRYVER et al. (1974a) schien der obere Teil des Dünndarms das größte Absorptionspotential zu haben, allerdings sei auch ein kleiner Teil des unteren Dünndarms bedeutend. Im Dickdarm wurde ein sehr geringer Anteil des aufgenommen Calciums absorbiert. MEYER et al. (1979) konnten nach Entfernung des Caecums einen geringen negativen Einfluss auf die Absorption des Calciums aus Heu und Gras feststellen. FRANK et al. (1983) stellte bei einem Umgehungsversuch des Dünndarms einen Rückgang der Ca-Absorption fest und schloss somit auf den Dünndarm als ausschlaggebenden Ort der Ca-Verwertung. VON ENGELHARDT u. BREVES (2005) berichten von einer aktiven Resorption aus dem Duodenum und proximalen Jejunum, wobei das saure Milieu im Duodenum die Lösung der mit dem Futter aufgenommen Calciumsalze fördert und somit die Absorptionsrate verbessert.

Bei Untersuchungen des Calciumgehaltes im Ileumchymus wurde von MEYER et al. (1982) bei Mischfutter ein dem Gehalt der Futtermitteltrockensubstanz ähnlicher Calciumgehalt im Chymusinhalt nachgewiesen. Auch NEHRING (1991) stellte höhere Werte im Chymus bei Mischfutterfütterung im Vergleich zur Raufutterfütterung fest. Des Weiteren traten, bei Raufutter und auch bei Mischfutter die niedrigsten Calciumwerte im Chymus in der ersten

Dünndarmhälfte auf (5,8-10,5 g/kg TM), höchste Werte waren bei Mischfuttergabe im Colon descendens mit 35,2 g/kg TM und im dorsalen Colon bei Luzerne fütterung mit 24,4 g/kg TM nachzuweisen (NEHRING, 1991). SMILEY et al. (1985) führten Untersuchungen zur Lokalisation der Absorption bei variierender Calciummenge durch, wobei die Resorptionsrate im Dünndarm immer am höchsten war (bis zu 70 %). Bei STADERMANN et al. (1992) zeigte sich eine überwiegende Ca-Absorption ebenfalls im proximalen und distalen Dünndarm nach post mortalen Untersuchungen auf Lokalisationen des vorher verabreichten Markers. Im Dickdarm scheinen die Ca-Absorptionsbewegungen gering zu sein, da sich nach intracaecaler Ca-Infusion die renale Ca-Exkretion nur unwesentlich von 14,6 mg/kg KM/Tag auf 15,1 mg/kg KM/Tag erhöhte.

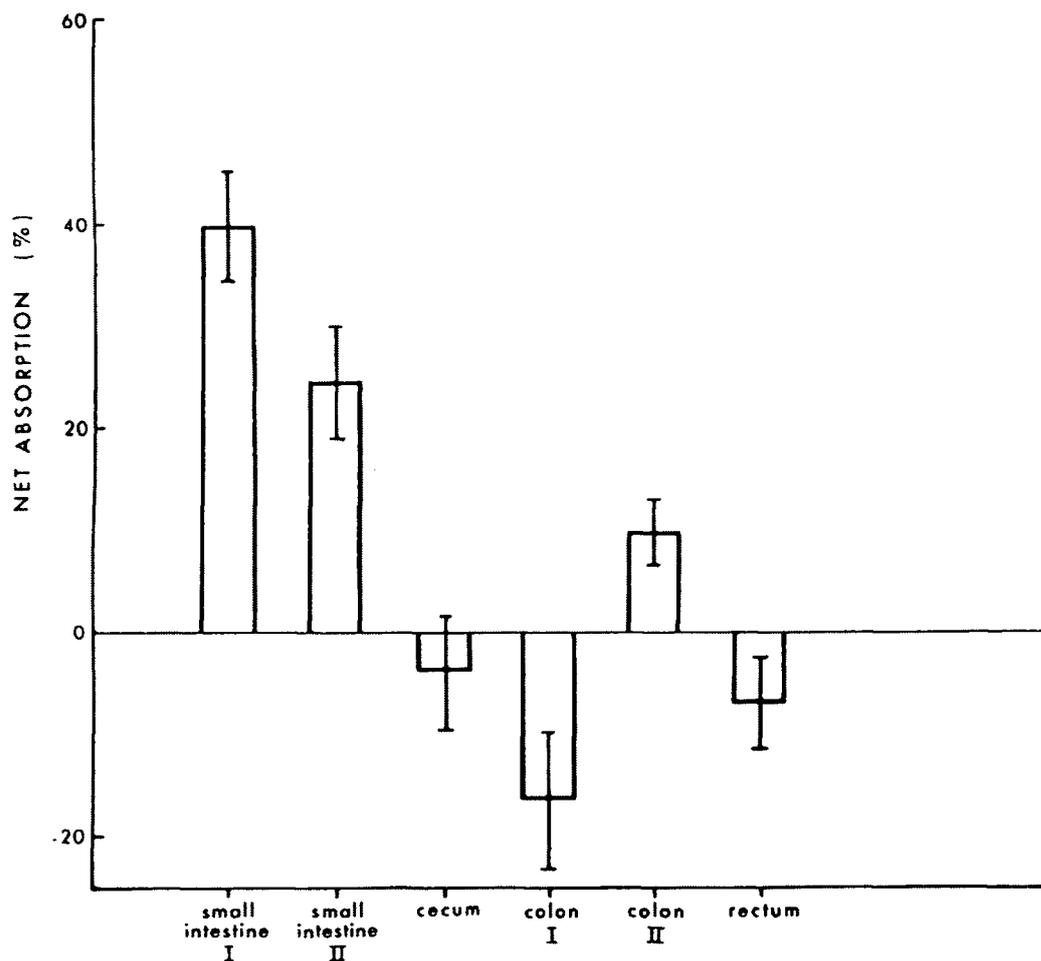


Abb. 1: Ca-Nettoabsorption im proximalen (I) und distalen (II) Dünndarm, im Caecum, im ventralen (I) und dorsalen (II) Colon und im Rektum des Pferdes (nach SCHRYVER, 1975)

Die Hauptbereiche der Phosphoresorption liegen nach SCHRYVER et al. (1972) im dorsalen großen Colon und im kleinen Colon und sind unabhängig von der Höhe der Phosphoraufnahme sowie dem aufgenommenen Futtermittel. Nach MEYER et al. (1982) kann der Ort der Absorption je nach Futterart variieren.

Bei einem Versuch mit radioaktiv markiertem Phosphor bei fistulierten Ponys wurden ähnliche Absorptionsraten nach Injektion in den Magen und ins Caecum festgestellt. Der Marker zeigte eine Sekretion von Phosphor im oberen Teil des Dünndarms, ungefähr die gleiche Menge wurde im unteren Teil des Dünndarms resorbiert, die größte Nettoresorption erfolgte jedoch im großen dorsalen und kleinen Colon (SCHRYVER, 1975).

ALEXANDER (1962) konnte nachweisen, dass die Konzentration des anorganischen Phosphors im Dünndarm ansteigt und im Dickdarm am höchsten ist, was durch die Sekretion in das Caecum und ventrale Colon bedingt ist, durch welche die im Dickdarm gebildeten organischen Säuren gepuffert werden (SCHRYVER, 1975; ALEXANDER, 1962).

HINTZ (1975) schätzt die auf die Ca-Aufnahme bezogene Phosphornettoresorption im Dünndarm auf 20-50 %, im Dickdarm auf 50-80 %.

2. Transportmechanismus der Calciumabsorption

Calcium diffundiert passiv oder wird durch aktiven Transport über die intestinale Mukosa befördert (SCHRYVER, 1975; SCHRYVER et al., 1974a; BOEHNCKE u. SCHNEIDER, 1978; WASSERMANN, 1968; KIRCHGESSNER, 2008).

Der aktive Transport ist vornehmlich im proximalen Dünndarm, im Duodenum und im oberen Abschnitt des Jejunums lokalisiert (STANIK, 2006).

Entlang eines steilen elektrochemischen Gradienten gelangt das Calcium durch Ca^{++} -Kanäle in der Bürstensaummembran in das Cytoplasma, da die Konzentration von freien Ca^{++} im Cytoplasma sehr gering ist ($< 1 \mu\text{mol/l}$) (VON ENGELHARDT u. BREVES, 2005). Dieser Vorgang ist nicht auf oxydative Mechanismen angewiesen und von Vitamin D abhängig (WASSERMANN, 1968). HARMEYER et al. (1992) konnten eine signifikant niedrigere Konzentration von ionisiertem Ca in der Ingesta des Dün- und Dickdarms (0,2 bis 1,2 mmol/l) als im Plasma feststellen (1,7 mmol/l), was auf einen aktiven, intestinalen Ca-Transport hindeutet. Nach einer Gabe von 26 μmol Vitamin D_3 /100 kg KM kam es zu einem Einfluss auf die Konzentration von Calcium im Plasma. Die Vitamin D_3 -Konzentration (Cholecalciferol) erhöhte sich von $< 5,2 \text{ nmol/l}$ auf 390 und 729 nmol/l, die Konzentrationen von 25OHD_3 (Calcidiol) und $1,25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$ (Calcitriol) blieben nach der Injektion unverändert, was für eine eher geringere Bedeutung des Vitamin D_3 , im Vergleich zu anderen Haustieren, spricht (HARMEYER et al., 1992).

Das Calcium bindende Protein (CaBP) wurde von FULLMER u. WASSERMANN (1975) im Duodenum des Pferdes identifiziert und ist vergleichbar mit dem von Vitamin D abhängigen

CaBP, das aktiv Calcium über die intestinale Mukosa transportiert und bei anderen Tierarten nachgewiesen wurde (FULLMER u. WASSERMANN, 1975).

Die Amino-Proteinverbindung kommt reichlich im Dünndarm des Pferdes vor (1,2 mg/ml Protein) und besitzt eine hohe Affinität für Calcium (SCHRYVER et al., 1974a; FULLMER u. WASSERMANN, 1975).

Der Calciumgehalt in der Mukosazelle verhält sich proportional zum luminalen Calciumgehalt (WASSERMANN, 1968).

Im Cytoplasma wird Calcium größtenteils reversibel an das Calcium bindende Protein namens Calbindin (CaBP) gebunden, welches unter dem Einfluss des Vitamin D₃-Hormons steht (KIRCHGESSNER, 2008; VON ENGELHARDT u. BREVES, 2005). Eine Absorptionssteigerung wird durch das Vitamin D₃-Hormon induziert, da es die Bildung von Calbindin und die Aktivität des Transporters stimuliert (VON ENGELHARDT u. BREVES, 2005; WASSERMANN, 1968). Außerdem fördert es nach seiner Bildung in der Niere den Einbau von Ca⁺⁺-Kanälen und Calcium-Pumpen in der Bürstensaummembran (VON ENGELHARDT u. BREVES, 2005).

Durch 1-25-Dihydroxycholecalciferol wird die Bildung des Calbindin induziert (BOEHNCKE u. SCHNEIDER, 1978) und Calcium damit durch das Cytoplasma zur Bürstensaummembran transportiert (VON ENGELHARDT u. BREVES, 2005).

Dort wird das Calcium aktiv mittels einer Calcium-Pumpe (Ca⁺⁺-ATPase) sowie durch einen, durch den transmembralen Na⁺ Gradienten angetriebenen, Na⁺/Ca⁺⁺-Austauscher aus der Zelle in das Plasma exportiert (VON ENGELHARDT u. BREVES, 2005; WASSERMANN, 1968). Nach WASSERMANN (1968) und BOEHNCKE u. SCHNEIDER (1978) ist dieser Export Vitamin D abhängig.

In Versuchen von TELEB (1984) deutet sich an, dass ein bestimmter Anteil des luminalen Calciums (ca. 2/3) unabhängig von der Calcium-Zufuhr fähig ist, die Dünndarmwand zu passieren. Danach scheint das Pferd keine regulativen Mechanismen zu besitzen, um bei einer Calciumübersorgung die Absorption zu drosseln oder sie dem Bedarf anzupassen. Darauf weist auch die steigende renale Ca-Exkretion bei zunehmender Ca-Aufnahme hin (TELEB, 1984).

Der passive Transport von Calcium ist ein ungesättigter, konzentrationsabhängiger Prozess, der entlang des gesamten Dünndarms lokalisiert ist und Calcium parazellulär durch Diffusion transportiert (STANIK, 2006).

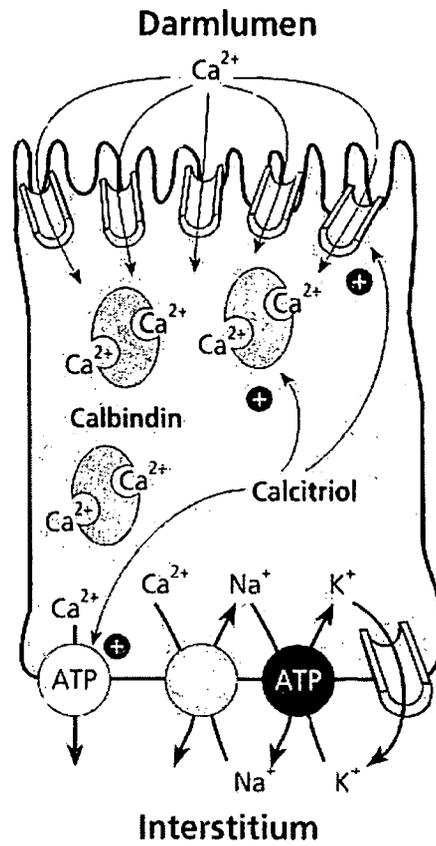


Abb. 2: Mechanismen der aktiven Ca^{++} -Resorption in Dünndarmepithelzellen
(nach VON ENGELHARDT u. BREVES, 2005)

3. Einflüsse auf die Ca-Absorption

Der Umfang der intestinalen Ca-Absorption wird von einer Reihe Faktoren beeinflusst, die mit der Zusammensetzung der Futtermittelration in Beziehung stehen (BOEHNCKE u. SCHNEIDER, 1978), aber auch vom Alter (ELLIS u. HILL, 2005) und anderen äußeren Faktoren.

a. Aufnahme unterschiedlicher Calcium-Mengen

Die Effizienz der geschätzten, wahren Calcium-Absorption erhöht sich bei niedrigen Ca-Aufnahmen und ist niedriger bei höheren Ca-Aufnahmen, die Menge des intestinal absorbierten Calciums nimmt mit der aufgenommenen Calciummenge zu (SCHRYVER et al., 1970a; WHITLOCK et al., 1970a; SMILEY et al., 1985; VAN DOORN et al., 2004; MOFFETT et al., 2001; BOEHNCKE u. SCHNEIDER, 1978, TELEB, 1984) (Abb. 3). Dieser Vorgang hängt möglicherweise mit einer verminderten Aktivität des Calcium-bindenden Proteins im Duodenum und Jejunum zusammen. Diese verringerte Effektivität der Ca-Absorption scheint ein adaptiver Mechanismus beim Pferd zu sein, um schädigende Effekte einer übermäßigen Calciumzufuhr zu neutralisieren (WHITLOCK et al., 1970a).

SMILEY et al. (1985) untersuchten den Ort der Absorption und die Absorptionsrate bei unterschiedlicher Calcium-Gabe von 6,79 g/Tag bis 12,75 g/Tag. Die Effizienz war mit 70 % bei 6,97 g am höchsten und sank bis auf 47 % bei 12,75 g.

Vier Shetlandponys wurden bei einem Test von SCHRYVER et al. (1970a) mit 2,9 g Ca /100 kg KM/Tag bis zu 24,4 g Ca /100 kg KM/ Tag versorgt. Die totale Absorption von Calcium war bei kleinster Ca-Gabe am niedrigsten (2 g/100 kg KM) und bei höchster Gabe am höchsten (11,3 g/100 kg KM). Die relative Absorption war negativ mit der Calcium-Aufnahme verbunden, bei niedriger Calciumaufnahme erreichte sie 77 %, bei hoher Ca-Aufnahme 46 %. WHITLOCK et al. (1970a) kamen bei einer Ca-Aufnahme von 8,5 g/100 kg KM/Tag auf eine geschätzte wahre Absorptionsrate von 71 %, 52 % wurden bei einer Aufnahme von 48,2 g/100 kg KM/Tag absorbiert (Tab. 1).

Verschiedene Calciumrationen von 14,8 bis 53,5 g/100 kg KM/Tag bei gleichbleibender Phosphoraufnahme von 12,5 g/100 kg KM/ Tag resultierten bei VAN DOORN et al. (2004) in einer scheinbaren Verdaulichkeit von 42,2 % bei 14,8 g Ca-Aufnahme und 27,4 % bei 53,3 g Ca-Aufnahme.

Junge wachsende Stuten wurden bei einem Versuch von WHITLOCK et al. (1970b) über elf Monate mit 0,42 % und 1,96 % Calcium in der Ration gefüttert, insgesamt nahm die geschätzte wahre Verdaulichkeit mit der Zeit ab (73 auf 70 % bei 0,42 % Ca; 55 auf 45 % bei 1,96 % Ca).

MOFFETT et al. (2001) konnten bei achtzehn Monate alten Pferden eine höhere Absorptionsmenge aus bedarfsdeckenden und niedrigen Calciumrationen, im Vergleich zu

hohen Calciumrationen, feststellen. FRAPE (2004) gibt bei bedarfsgerechter Futteraufnahme eine geschätzte, wahre Verdaulichkeit von 70 % an, TELEB (1984) eine Nettoabsorption von 65 - 79 %. Versuche zur Wirkung unterschiedlicher Calcium-Gaben auf die Phosphorverdaulichkeit ergaben einen Rückgang der scheinbaren Verdaulichkeit von Phosphor bei steigenden Calciumgaben (SCHRYVER et al., 1971a). Auch LIEB u. BAKER (1975) geben an, dass eine hohe Calciumration die wahre Verdaulichkeit von P reduziert, eine Calciumgabe von 0,78 bis 2 % in der Ration ergab einen Abfall der wahren Verdaulichkeit des Phosphors von 61,4 auf 34,2 %. VAN DOORN et al. (2004) wiesen ebenfalls einen Effekt hoher Ca-Gaben auf die scheinbare Verdaulichkeit von Phosphor nach, der hemmende Effekt war ab einer Calciumgabe von 31,6 g/100 kg KM/Tag bei einer Phosphorgabe von 12,5g/100 kg KM/Tag zu erkennen. WHITLOCK et al. (1970b) und SCHRYVER et al. (1971c) fanden keine oder nur leichte Effekte einer hohen Calciumgabe auf die scheinbare Verdaulichkeit von Phosphor, bei TELEB (1984) wirkte sich die Erhöhung der Calciumzufuhr ebenfalls nicht auf die Verwertung des Phosphors aus, möglicherweise aufgrund der unterschiedlichen Lokalisation der Absorption der Mineralien im Darmtrakt. OTT et al. (1975) fanden eine höhere scheinbare Verdaulichkeit von Phosphor bei Erhöhung der Calciumzufuhr, jedoch bei selektivem Fressverhalten der Tiere.

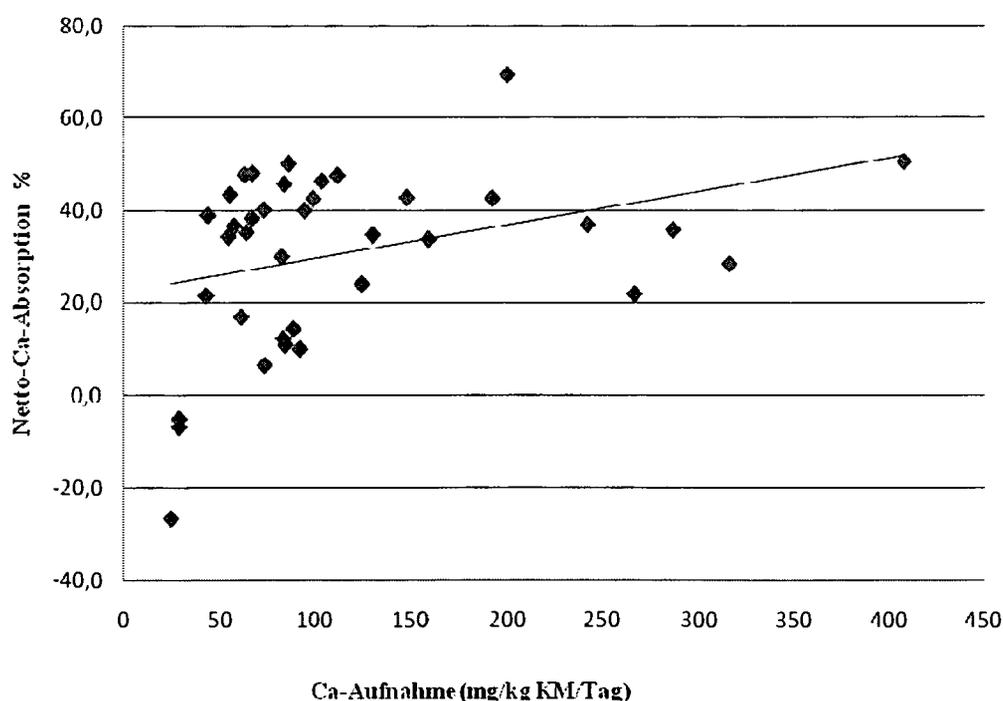


Abb. 3: Gesamt-Ca-Nettoabsorption (%) in Abhängigkeit von der Ca-Aufnahme (Autoren und Daten s. Tab. I im Tabellenanhang)

Tab. 1: Effekt verschiedener Ca-Aufnahmen auf die geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Calcium

Calcium-Aufnahme g/100 kg KM/Tag	Ca- Absorption g/100 kg KM/Tag	Geschätzte, wahre Absorption in %	Autor
2,9	2	70	SCHRYVER et al. (1970a)
13	6,4	51	
24,2	11,3	46	
8,6	6,2	73,1	WHITLOCK et al. (1970b)
40,8	22,7	55,5	
6,3	4,4	70	
28,6	12,9	45	
8,5	6	70,5	WHITLOCK et al. (1970a)
8,6	6,1	70,9	
33,3	17,1	51,3	
38,6	21	54,4	
43	25,7	59	
48,2	25,7	53,3	
4,31	1,84	42,7	

b. Anorganisches Phosphat

Beim Versuch zum Einfluss hoher Phosphordiäten auf den Calciummetabolismus versorgten SCHRYVER et al. (1971b) vier Shetlandponys mit einer Normalration mit 0,2 g Phosphor/100 g Futter und einer Ration mit 1,2 g Phosphor/100 g Futter. Die hohe Phosphorratio verminderte die geschätzte, wahre Verdaulichkeit des Calciums von 7 g oder 68 % in der Normalration auf 3,7 g oder 44 % in der Ration mit hohem Phosphoranteil und einem Ca:P-Verhältnis von 0,29:1. SCHRYVER et al. (1971c) entdeckten einen gleichen Effekt, sehen anorganisches Phosphat dennoch eher als unwichtigen Faktor in der Beeinträchtigung der Calcium-Absorption.

Bei P-Aufnahmen unter 80 mg/kg KM/Tag konnte bei Ca-Aufnahmen von 4 bis 282 mg/kg KM/Tag rechnerisch kein negativer Einfluss auf die Ca-Nettoabsorption gefunden werden (TELEB, 1984).

Tab. 2: Einfluss einer überhöhten P-Zufuhr auf die geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Calcium (SCHRYVER et al., 1971b)

P-Aufnahme mg/kg KM/Tag	Ca-Aufnahme mg/kg KM/Tag	Geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Ca in %
42	103,4	68
252	84,2	43,5

c. Phytat

HINTZ et al. (1973b) fütterten in ihrem Versuch Weizenkleie mit 65 % Phytat-Phosphor-Anteil. Während die geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Phosphor aus der Kleie auch bei variierendem Ca:P-Verhältnis bei ca. 30 % blieb, veränderte sich die geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Calcium bei Fütterung von Rübenmark und Weizenkleie, im Vergleich zur Fütterung mit purem Rübenmark, von 60 % auf 30 %. HINTZ et al. (1973b) gaben als möglichen Grund dafür den hohen Phytatgehalt in der Weizenkleie an.

Das Verhältnis von Ca zu P zeigt im Versuch von HINTZ et al. (1973b) ebenfalls einen Einfluss auf die geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Calcium. Eine geschätzte, wahre Verdaulichkeit von 30 % war bei einem Ca:P-Verhältnis von 0,42:1 feststellbar, bei einem Verhältnis von 1,71:1 ergab sich die höchste geschätzte, wahre Verdaulichkeit von 50 %. Bei höheren Ca:P-Verhältnissen von über 2:1 ging die geschätzte, wahre Verdaulichkeit auf 45 % im Mittel zurück, was mit dem Ergebnis von SCHRYVER et al. (1971c) übereinstimmt; diese geben eine geringere intestinale Absorption ab einem Ca:P-Verhältnis von 2:1 an.

SCHRYVER et al. (1971c) sehen in organischem Phosphor einen wichtigen Faktor zur Beeinflussung der Ca-Absorption. Tests mit Mischfuttermitteln mit einem hohen Phytatanteil von 50 % (SCHRYVER et al., 1971c) ergaben nur eine Gesamt Nettoabsorption des Calciums von ca. 14 % (NEHRING, 1991), was auf den Effekt hindeuten könnte, dass das in Getreide enthaltene Phytat unabsorbierbare Komplexe mit Calcium bildet und somit dessen Absorption beeinträchtigt (NEHRING, 1991; KIRCHGESSNER, 2008; FRAPE, 2004).

MORRIS-STOKER et al. (2001) stellten fest, dass ein durchschnittlicher Effekt von Phytat auf die Ca- und P-Absorption durch eine dauerhafte Fütterung verursacht werden kann, nicht aber durch unterschiedlich hohe Rationen. 1 g Phytase/kg Futter löste keinen erfassbaren Effekt im Bezug auf die Ca-Verdaulichkeit aus. Nach SCHRYVER et al. (1974b) hat die gehemmte Ca-Resorption durch Phytat oder mineralischen Phosphor nur einen geringen Stellenwert über einen langen Zeitraum, wenn eine ausreichende Ca-Versorgung über die Nahrung gewährleistet ist.

d. Oxalat

Oxalate binden zweiwertige Kationen in eine unlösliche Form und vermindern so ihre Absorptionsfähigkeit (SWARTZMAN et al., 1978; KIRCHGESSNER, 2008; FRAPE, 2004; VON ENGELHARDT u. BREVES, 2005).

HINTZ et al. (1984) prüften die Wirkung von Oxalat mit Alfalfa als Hauptquelle für Calcium. Zwei Rationen lieferten ausreichend Calcium (62 mg Ca/kg KM), die Ca: Oxalat-Verhältnisse betragen 1,7:1 und 3:1. Zwischen den Rationen konnte kein Einfluss der Oxalatgabe auf die geschätzte, wahre Verdaulichkeit des Calciums gezeigt werden, sie betrug bei 1,7 % Ca in der Ration 76,3 % und bei 3 % Ca in der Ration 80,1 % (Tab. 3).

Bei Versuchen mit Ca:Oxalat-Verhältnissen von 0,6:1 und 0,45:1 wiesen SWARTZMAN et al. (1978) eine allgemein erniedrigte Ca-Absorption nach Oxalatzugabe nach. Nach gleicher Calcium-Aufnahme von ca. 92 mg/kg KM/Tag in Rationen mit und ohne Oxalat wurde nach Zugabe von 1 % Oxalat (Verhältnis 0,6:1) 15 % weniger Calcium resorbiert. Bei dem Verhältnis von 0,45:1 wurde eine negative Calciumbilanz verzeichnet, es wurden 14 % Calcium absorbiert (Tab. 3).

MCKENZIE et al. (1981) verzeichneten eine negative Ca-Bilanz bei Zugabe von 2,6 % und 4,3 % Oxalat, die wahre Verdaulichkeit nahm um bis zu 66 % ab (Tab. 3).

Auch TELEB (1984) konnte nach einer Oxalatzugabe eine Verminderung der Nettoresorption des Calciums von 65 auf 58 % verzeichnen, es kam zu einer Beeinflussung der praecaecalen und postilealen Verwertung, die Gesamtverdaulichkeit des Calciums ging ebenfalls zurück.

BLANEY et al. (1981a) machten Tests mit Grasarten, die eigentlich eine genügend hohe Calcium-Aufnahme garantieren könnten (45 mg/kg KM/Tag), dennoch kam es teilweise zu einer negativen Calcium-Bilanz, was BLANEY et al. (1981a) auf das im Gras enthaltene Oxalat zurückführten. Die wahre Verdaulichkeit konnte bei der Annahme einer konstanten fäkalen Ca-Ausscheidung von 22 mg/kg KM/Tag, bei einem Ca:Oxalat-Verhältnis von 0,06-0,38:1 auf 0-42 % und bei einem Verhältnis von 1,36-1,92:1, auf 76-100 % geschätzt werden. CYMBALUK et al. (1986) führten einen Test mit zweihundert Futterproben zur Bestimmung des Calcium- und Oxalatgehalts durch. Die Oxalatkonzentration in Heu war positiv mit der Calciumkonzentration im Heu korreliert ($r = 0,69$). Hohe Oxalatwerte konnten in Heu aus

Getreidepflanzen und Zypresse festgestellt werden, Leguminosenheu weist hohe Calcium- und Oxalatwerte auf, in Getreide konnte kein Oxalat festgestellt werden.

CYMBALUK et al. (1986) unterscheiden zwischen löslichem und unlöslichem Oxalat, welche jedoch beide einen negativen Effekt auf die Calcium-Verwertung haben können. Die Oxalatverdaulichkeit lag bei Getreidepflanzenheu bei 73-88 %, wahrscheinlich zurückzuführen auf einen hohen Gehalt an löslichem Oxalat. Die Oxalatverdaulichkeit bei Alfalfa-, Trespen- und Sumpfheu liegt bei 48-64 %.

BLANEY et al. (1981b) verabreichten Pferden kristallines Calciumoxalat ($\text{Ca}(\text{COO})_2$) bei gleichzeitig negativer Ca-Bilanz, wobei sich die Absorptionseffizienz gewöhnlich erhöht (SCHRYVER et al., 1970a). Die Ca-Retention aus $\text{Ca}(\text{COO})_2$ betrug 6 %.

Die Menge des durch Oxalat gebundenen Calciums ist abhängig vom Ca:Oxalat-Verhältnis (CYMBALUK et al., 1986; HINTZ et al., 1984; SWARTZMAN et al., 1978), je höher der Calciumwert und je niedriger der Oxalatgehalt ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit einer Bindung des Calciums an Oxalat.

Tab. 3: Oxalatwirkung auf die geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Ca

Ca-Aufn. mg/kg KM/Tag	Oxalat-Aufn. % d. Ration	Ca: Oxalat Verhältnis	Geschätzte, wahre Verdaulichk. v. Ca in %	Autor
90	1	0,6:1	50	SWARTZMAN et al. (1978)
91	-	-	65	
65	1	0,45:1	14	
65	-	-	75	
45,2	-	-	88	McKenzie et al. (1981)
32,4	4,3	0,07:1	22	
38,7	2,6	0,12:1	33	
62,6	0,25	1,7:1	76,3	HINTZ et al. (1984)
61,8	0,14	3,0:1	80,1	

e. Ca:P - Verhältnis

Bei einem Versuch mit verschiedenen Aufnahmemengen von Calcium bei gleichbleibender Phosphormenge (VAN DOORN et al., 2004) und Ca: P-Verhältnissen von 1,15 bis 4,27:1 trat die höchste, scheinbare Verdaulichkeit von Ca und P bei dem niedrigsten Verhältnis von 1,15:1 auf. Ab dem mittleren Verhältnis (2,58:1) kam es zu einer starken Hemmung der Phosphorverdaulichkeit (Tab. 4). Im Gegensatz dazu berichten CUDDEFORD et al. (1990) bis zu einem Ca:P-Verhältnis von 14,6:1 bei Fütterung von Alfalfa von keiner Beeinträchtigung der Phosphoresorption. Auch WHITLOCK et al. (1970b) und SCHRYVER et al. (1971a) konnten bei einem hohen Verhältnis von 4,12:1 und 4,3:1 keinen Einfluss auf den Phosphorhaushalt erkennen.

SCHRYVER et al. (1970a) stellten die höchste Ca-Absorptionseffizienz bei einem geringen Ca:P- Verhältnis von 0,43:1 fest (77 %), bei steigendem Verhältnis auf bis zu 4,29:1 nahm die Effizienz auf 45 % ab. Die größte Ausnutzung des aufgenommen Calciums trat bei einem Verhältnis von 1,86:1 auf. HINTZ et al. (1973b) erkannten einen scheinbaren Einfluss des Ca:P-Verhältnisses auf die geschätzte, wahre Ca-Verdaulichkeit aus Kleie, wobei die höchste Effizienz von 50 % bei einem Verhältnis von 1,71:1 lag, bei einem Verhältnis von 2:1 nahm die Effizienz um 5 % ab. Zustimmende Ergebnisse ergaben sich bei WHITLOCK et al. (1970b) während eines 11 monatigen Versuches, bei dem junge, wachsende Stuten dauerhaft mit einem Ca:P-Verhältnis von 4,12:1 und einem Vergleichswert von 1,16:1 versorgt wurden. 70-73 % wahre Verdaulichkeit wurden bei dem engen Verhältnis von 1,16:1 festgestellt, 45-55 % bei dem vergleichsweise weiten Verhältnis von 4,12:1. Dieses Verhältnis verminderte zusätzlich die Resorptionsraten von Magnesium (50 auf 27 %), Mangan (37 auf 9%) und Eisen (18 auf 4 %).

Ein Ca:P-Verhältnis von 0,2 zu 1 führte bei Verabreichung über zwei Wochen bei ARGENZIO et al. (1974) zu einer negativen Calciumbilanz, die renale Ausscheidung von Ca war stark vermindert (Tab. 4). SCHRYVER et al. (1971c) verabreichten eine reichliche Phosphorration von 1,2 % bei genügendem Ca (0,4 %) und einem Ca:P-Verhältnis von 0,3:1, was zu einer abnehmenden Ca-Resorption führte. Das Ergebnis wurde aber eher auf die hohe Phosphorversorgung zurückgeführt als auf das Ca:P-Verhältnis, da in einem weiteren Experiment Ponys bei einem Ca:P-Verhältnis von 0,4:1 eine geschätzte, wahre Verdaulichkeit des Calciums von 70 % zeigten. BLANEY et al. (1981a) konnten dagegen bei einer Fütterung verschiedener Grassorten ab einem Verhältnis unter 0,69:1 eine Depression der Ca-Verdaulichkeit feststellen, wobei der Einfluss von Oxalat vollständig ausgeschlossen werden konnte.

SCHRYVER et al. (1974b) stellten nach der Schlachtung von zwanzig Jungpferden, nach Fütterung mit verschiedenen Ca:P-Verhältnissen, den höchsten Ca-Gehalt im Körper nach der Fütterung von 2,8 % Calcium und 0,6 % Phosphor fest. Bei einem engeren Verhältnis oder hohen Phosphorgehalten im Futter war der Ca-Gehalt im Körper geringer.

TEETER et al. (1967) schätzten das optimale Ca:P-Verhältnis auf 1,1:1, nach SCHRYVER et al. (1971c) sollte das Ca:P-Verhältnis größer als eins sein, jedoch scheint die absolute

Aufnahme beider Mineralien entscheidender als ihr Verhältnis zueinander. Die verschiedenen Haupt-Absorptionsorte, Dünndarm und Dickdarm, der beiden Mineralien begrenzen nach EAAP (2005) die Rolle des Ca:P-Verhältnisses. Sie machen außerdem verständlich warum ein Calcium-Überschuss die Phosphor-Verwertung weniger beeinträchtigt als ein Phosphorüberschuss die Calcium-Verwertung (MEYER et al., 1982).

Tab. 4: Einfluss des Ca:P -Verhältnisses auf die scheinbare Verdaulichkeit von Ca und P

Ca-Aufn. mg/kg KM/Tag	P-Aufn.	Ca:P	Ca-Verd.. in %	P-Verd. in %	Autor
147,9	128,2	1,15:1	63	30	VAN DOORN et al. (2004)
315,5	122,3	2,58:1	89	14	
535,2	125,2	4,27:1	151	17	
63	35	1,8:1	15	1	CUDDEFORD et al. (1990)
178	33	5,4:1	53	8	
298	32	9,5:1	70	4	
415	28	14,6:1	79	-9	
49,45	119	0,42:1		23,5	HINTZ et al. (1973b)
85,6	73	1,71:1		17	
142,8	73	1,95:1		12	
132	66	2:1		18,2	
142,8	73	2,39:1		12,3	
43,1	203	0,22:1	3,7	75,8	ARGENZIO et al. (1974)
42,6	200	0,21:1	1,4	76,5	

f. Fette

Hohe Fettmengen im Futter oder hohe Konzentrationen von Fettsäuren in der Ration können zur Bildung schwerlöslicher Calciumseifen führen (KIRCHGESSNER, 2008). Durch den

schwachen Dissoziationsgrad dieser Seifen ist der Vorgang pH-Wert abhängig und kommt hauptsächlich im alkalischen Milieu vor (kaudaler Teil des Dünndarms) (FLOTHOW, 1994). RICH et al. (1981) konnten keinen Einfluss auf die scheinbare Verdaulichkeit von Calcium durch Zugabe von 1,4 g Fett/kg KM/Tag feststellen. FLOTHOW (1994) stellte bei Sojaölaufuhr keine Veränderung der Ca-Nettoabsorption fest, bei einer Kokosfettzulage kam es hingegen zu einer tendenziellen Depression der Nettoabsorption, möglicherweise durch den Seifenbildungseffekt. Dieser ist abhängig vom pH-Wert, dieser wiederum nur von der Menge des Fettes und nicht von der Art. Gewöhnlich neigen langkettige Fettsäuren zur Seifenbildung, Kokosfett besteht aber eher aus kurz- bis mittellangen Ketten, daher ist der Grund für die Depression der Ca-Absorption fraglich (FLOTHOW, 1994).

In Untersuchungen von COENEN (1986) zur Gabe einer fettreichen Ration mit etwa 3,9 % Sojaöl als Sondennahrung oder als spontan aufzunehmendes Futter, kam es nach Sondenapplikation zu einer deutlichen Verdauungsdepression bezüglich des Calciums (40-53 % Verdaulichkeit bei spontaner Futteraufnahme). Dieser Vorgang wurde auf die applikationsbedingt, raschere Chymuspassage zurückgeführt und somit war kein eindeutiger Rückschluss auf eine Minderung der Verdaulichkeit durch Seifenbildung möglich. BOWMAN et al. (1977) konnten nach einer Zugabe von 5, 10 und 20 % Maisöl zu einer Grundration bei Ponys keinen Einfluss der Ölmenge auf die Calciumkonzentration im Plasma feststellen.

TELEB (1984) berichtet von einer Beeinträchtigung der Fettabsorption durch höhere Ca-Gaben, bei bis zu 50 mg Ca/kg KM/Tag lag die Fettverdaulichkeit bei 80 %, ab 250 mg Ca/kg KM/ Tag ging die Nettoresorption des Fettes auf 36 % zurück.

g. Magnesium

Bei einer Futtermittelration mit Magnesiumgehalten von 0,31 % bis 0,86 % konnten HINTZ u. SCHRYVER (1973) eine grundsätzliche Zunahme der scheinbaren Verdaulichkeit von Calcium durch Magnesiumzugabe feststellen (40,2 auf 54 %) (s. Tab. 5). Die geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Ca stieg bei steigender Mg-Gabe (0,16 % - 0,86 %) von 65 auf 84 %. MEYER u. AHLWEDE (1977) konnten keine eindeutige Veränderung bezüglich der Absorption des Calciums bei Magnesiummangel feststellen. Die steigende Magnesiumgabe beeinflusste den Phosphormetabolismus bei HINTZ u. SCHRYVER (1973) nicht.

Eine Zugabe von Ca steigert in Versuchen von MEYER u. AHLWEDE (1977) und TELEB (1984) die praecaecale Nettoabsorption von Magnesium deutlich, im Gegensatz dazu berichtet FRAPE (2004) von einer möglichen Verringerung der Mg-Resorption durch eine exzessive Ca-Gabe. Bei einer Untersuchung von HINTZ u. SCHRYVER (1972b) hatte die Supplementierung verschiedenster anorganischer Ca-Quellen keinen Einfluss auf den Magnesium-Metabolismus in Ponys. TELEB (1984) vermutet, dass eine Förderung des gemeinsam genutzten Transportsystems oder die vermehrte Freisetzung des Magnesiums aus

anderen Verbindungen im Darminhalt im Zusammenhang mit der erhöhten praecaecalen Nettoabsorption von Magnesium bei Ca-Übersorgung stehen könnte.

Tab. 5: Einfluss des Mg-Gehaltes in der Ration auf die scheinbare Ca-Verdaulichkeit im Darmtrakt des Pferdes (HINTZ u. SCHRYVER, 1973)

Mg %	Ca-Aufnahme*	Ca- Abgabe*		Scheinbare Verdaulichkeit von Ca in %
		Kot	Harn	
0,31	62,7	37,5	8,1	40,2
0,86	65,0	29,9	9,5	54,0

* mg/kg KM/Tag

h. Lysin und Laktose

HINTZ et al. (1971) konnten nach Proteingaben über eine Mischung aus Milchprodukten (Molkepulver, Käserinde, getrocknete Buttermilch) eine höhere Ca-Nettoabsorption nachweisen als bei Fütterung von Leinsamen, obwohl der Rohproteingehalt in Leinsamen um 10 % höher war als in den Milchprodukten. Der Laktosegehalt in den Milchprodukten lag bei 51 %, was möglicherweise ein Grund für die bessere Verwertung des Ca aus den Milchprodukten ist. Eine Zugabe von Lysin zur Leinsamenration hatte keinen Einfluss auf die Ca-Verdaulichkeit.

SCHRYVER (1975) vermutet, dass die erhöhte Aufnahme von Ca und P aus Milchprodukten durch Laktose und Lysin bedingt ist, jedoch wurde bei Zugabe von Lysin zu Futtermitteln mit einem geringen Anteil dieser Aminosäure keine erhöhte Nettoabsorption der beiden Mineralien nachgewiesen. LINDEMANN et al. (1983) konnten keine Beeinflussung der scheinbaren, praecaecalen Verdaulichkeit von Calcium durch Laktose erkennen.

Nach WASSERMANN u. TAYLER (1969) hat die Beimischung von Laktose zur Ration die Ca-Absorption in mehreren Spezies angeregt, ebenso zeigte eine Zufütterung von Lysin einen positiven Effekt bei der Ca-Verdaulichkeit von Ratten.

SCHRYVER et al. (1987) stellten einen tendenziellen Rückgang der geschätzten, wahren Ca-Verdaulichkeit von 77 auf 52 % bei einem steigenden Proteingehalt von 9 auf 20 % fest. Der

Rückgang der Absorptionseffizienz könnte aber auch durch die gleichzeitige höhere Calciumaufnahme erklärt werden, die, wie von SCHRYVER (1975) gezeigt, direkt mit der Effizienz der Absorption zusammenhängt (Tab. 6).

Tab. 6: Einfluss von unterschiedlichen Proteingaben auf die Calcium-Nettoabsorption im Bezug auf das Alter (SCHRYVER et al., 1987)

	Ca-Aufnahme mg/kg KM/Tag	Ca-Nettoabsorption mg/kg KM/Tag	Ca-Nettoabsorption %
6 Monate alt			
9 % Protein	125	96	77
14 % Protein	154	96	62
20 % Protein	157	88	56
12 Monate alt			
9 % Protein	149	79	53
14 % Protein	106	65	62
20 % Protein	118	61	52

i. Vitamin D

BOEHNCKE u. SCHNEIDER (1978) sehen das Vitamin D₃ als entscheidenden Faktor für den Ca-Transport durch die intestinale Mukosa, auch SCHRYVER et al. (1974a) schreiben dem Vitamin D₃ eine essentielle Bedeutung für den aktiven Ca-Transport durch die Darmwand zu. Nach KIRCHGESSNER (2008) erhöht Vitamin D die Absorptionsrate von Calcium, nach MEYER u. COENEN (2002) scheint die Bedeutung von Vitamin D beim Pferd gering zu sein.

HINTZ et al. (1973a) führten einen Versuch mit unterschiedlichen oralen Vitamin D₃ Zulagen von 0 bis 3330 IE/kg KM/Tag durch, wobei für zwei Ponys die tägliche Höchstgabe von 3330 IE/kg KM/Tag nach vier Monaten letal verlief. Die Mineralstoffbilanzuntersuchungen der anderen Ponys ergaben beim ersten Mal eine ansteigende, wahre Verdaulichkeit von 55 auf 89 % bei steigender Vitamin D₃-Verabreichung, bei weiteren Bilanzuntersuchungen kam es zu keinem Anstieg der wahren Verdaulichkeit, eher zu einem Rückgang auf bis zu 33,3 % (Tab. 7). Ein ähnliches Ergebnis war für Phosphor feststellbar.

Bei einem Versuch von WEISWEILER et al. (1993) wurden 10 000 IE Vit. D₃/kg KM/Tag bei drei Ponys intramuskulär über vier Tage verabreicht. Ein Effekt auf die Nettoabsorption

von Calcium war nicht erkennbar, die scheinbare Verdaulichkeit von Phosphor erhöhte sich von 11 auf 58 %. Bei BREIDENBACH et al. (1998) ergab die intramuskuläre Verabreichung von 10 000 IE/kg KM/Tag bei gleichzeitig niedrigen Calcium- und Phosphor-Rationen eine erhöhte renale Calcium-Ausscheidung mit zunehmend negativer Bilanz, die scheinbare Verdaulichkeit von Calcium wurde nach der Vitamin D₃-Verabreichung nicht merklich angehoben. Bei Phosphor erhöhte sich die scheinbare Verdaulichkeit auf 32 %, die renale Ausscheidung erhöhte sich um 50 %.

HARMEYER et al. (1992) verabreichten eine einzelne Dosis von 26 µmol Vitamin D₃ (Cholecalciferol)/100 kg KM intramuskulär an drei Ponys. Die Konzentration von Vitamin D₃ im Plasma wurde hundertfach erhöht (< 5,2 µmol/l auf 729 µmol/l), die Konzentrationen von 25OHD₃ und 1,25-(OH)₂D₃ blieben unverändert. HARMEYER et al. (1992) vermuteten, dass die Konzentration zu niedrig war um einen Effekt hervorzurufen und schreiben dem Vitamin-D-System bei Pferden eine eher geringere Bedeutung zu.

Tab. 7: Vitamin D-Aufnahme: Wirkung auf die wahre Verdaulichkeit des Calciums (HINTZ et al. 1973a)

Versuchsdauer	Ca-Aufnahme mg/kg KM/Tag	Vit.D-Aufnahme IE/kg/KM/Tag	Wahre Verd. v. Ca %
1 Monat	50	0	55,4
	50	66	63,8
	50	330	62,7
	50	660	70,6
	50	3330	88,6
4 Monate	50	0	46,6
	50	66	45,5
	50	330	33,3
	50	660	46,6
7 Monate	50	0	40,1
	50	66	43,1
	50	330	37,4

j. Alter

SCHRYVER (1975) konnte bei Studien mit radioaktivem Calcium und Phosphor bei jungen, ausgewachsenen und alten Pferden keinen Unterschied in der Absorption der Mineralien feststellen, bei adäquatem Ca:P-Verhältnis ergab sich für alle Altersklassen bei Ca eine Absorptionsrate von bis zu 2/3 des mit dem Futter angebotenen Ca, weniger als die Hälfte des verabreichten Phosphors wurde absorbiert. Keinen Einfluss des Alters auf die scheinbare Verdaulichkeit von Calcium konnten RALSTON et al. (1989) bei einer Fütterung von 20-35 Jahre alten und 2-3 Jahre alten Pferden mit Alfalfapellets feststellen. Sie lag bei beiden Altersklassen bei 55 %. Es gab allgemeine Unterschiede in der Verdaulichkeit von Futtermitteln, außerdem konnte bei alten Pferden eine negative Phosphor-Bilanz festgestellt werden. KICHURA et al. (1983) stellten ebenfalls eine abnehmende Effizienz der Phosphorabsorption im Alter fest. Ponys aller Altersklassen absorbierten signifikant mehr Phosphor aus hohen Phosphorrationen als aus phosphorarmen Rationen.

Bei MOFFETT et al. (2001) wurden Jährlinge im Alter von zwölf, fünfzehn und achtzehn Monaten mit verschiedenen Ca-Gehalten gefüttert. Im Alter von zwölf und fünfzehn Monaten zeigte sich eine höhere, geschätzte Verdaulichkeit bei höherer Ca-Aufnahme, im Alter von achtzehn Monaten zeigten die Tiere höhere Absorptionsraten bei niedriger und basaler Calcium-Aufnahme.

SCHRYVER et al. (1970a) konnten feststellen, dass die „System rate constant“ (Verhältnis zwischen der Summe aller einseitigen Poolverluste und der Poolgröße) bei 14 Monate alten Ponys kleiner ist als bei 6 und 9 Monate alten Ponys, was möglicherweise auf den geringeren Pool-Umsatz mit zunehmendem Alter zurückzuführen ist.

Ergebnisse von LIEB u. BAKER (1975) und VAN DOORN (2004) deuten an, dass der hemmende Effekt hoher Calcium-Gaben bei gleichbleibender Phosphor-Aufnahme bei älteren Pferden höher ist als bei Jungpferden. VAN DOORN (2004) konnte einen Einfluss der Phosphorverdaulichkeit durch variierende Ca-Aufnahme bei älteren Pferden feststellen, ebenso LIEB u. BAKER (1975). Die geschätzte, wahre Phosphorverdaulichkeit sank von 61,4 % auf 34,2 % bei steigender Ca-Aufnahme mit der Ration (0,78-2 %).

WHITLOCK et al. (1970a) sahen bei jungen Pferden keinen Effekt hoher Calciumaufnahmen auf die Phosphorverdaulichkeit.

SCHRYVER et al. (1987) stellten bei Pferden im Alter von 6 und 12 Monaten einen tendenziellen Rückgang der geschätzten, wahren Ca-Verdaulichkeit von 77 auf 52 %, bei einem steigenden Proteingehalt von 9 auf 20 %, fest (Tab. 6). Der Rückgang der Absorptionseffizienz könnte aber auch durch die gleichzeitig höhere Ca-Aufnahme erklärt werden, die wie von SCHRYVER (1970) gezeigt direkt mit der Effizienz der Absorption zusammenhängt.

k. Ca-Absorption aus verschiedenen Futtermitteln

Die Ca-Absorption liegt im Mittel bei Raufutter und gemischten Rationen höher als bei ausschließlichen Kraftfuttermitteln (MEYER u. COENEN, 2002; MEYER et al., 1982; MEYER et al., 1979; MEYER et al., 1982; NEHRING, 1991; STADERMANN et al., 1992). MEYER et al. (1982) berichten von Ca-Absorptionsraten von 60-68 % bei Mischfutter, 78-80 % bei Heu und Stroh und 53 % bei gemischten Heu/Mischfuttermitteln.

Bei MEYER et al. (1979), NEHRING (1991) und MEYER et al. (1991) zeigten sich insgesamt geringere Werte bei Heu (34,7 - 50 %), Mischfutter (11,1 - 19,3 %) und Gemischtrationen (26-33 %). STADERMANN et al. (1992) berichten von einer praecaecalen Ca-Verdaulichkeit von 49,3 % bei Raufuttergabe und 18,9 % bei Mischfuttergabe, bei hohen Calciumaufnahmen von 278 - 312 mg/kg KM/Tag.

CUDDEFORD et al. (1990) führten einen Versuch mit Vollblütern mit Timothe- und Alfalfa-Heusorten durch, um unterschiedliche Verwertbarkeiten herauszustellen. Calcium aus Alfalfaheu war signifikant besser verfügbar als Calcium aus Timotheheu. Je höher der Anteil des Alfalfaheus in der Heumischung stieg, desto mehr stieg die wahre Verdaulichkeit des Calciums.

Bei einem Vergleich in einem Versuch von HINTZ u. SCHRYVER (1972a) konnten ähnliche Werte bei der wahren Verdaulichkeit des Calciums aus Alfalfaheu festgestellt werden, 77 % und 82 %. Bei den Werten für Heu gab es eine höhere Unstimmigkeit, 36 % und 70 %, was möglicherweise durch den variierenden Proteingehalt im Heu oder durch den unterschiedlichen Calcium-Metabolismus bei Vollblütern und Ponys zu erklären ist.

Nach STADERMANN et al. (1992) zeigt sich bei Raufuttermitteln eine signifikante, um durchschnittlich 19 %, höhere scheinbare Verdaulichkeit als bei Mischfuttermitteln. Als Grund dafür schlossen sie die Bindungsform des Ca aus, da der Anteil anorganischen Calciums in der Kraftfuttermittelration höher lag als in der Heurration. Calcium war in beiden Rationen im Überschuss vorhanden. Unterschiede in der Löslichkeit des Ca bei beiden Rationstypen könnten aus unterschiedlich hoher Sekretion der Verdauungssäfte und/oder niedrigerem pH-Wert am Magenausgang nach Raufutter-Gabe resultieren. Im Dünndarmchymus wurde jedoch post mortem ein höherer pH-Wert (7,1 vs. 6,3) nach Raufuttergabe festgestellt. Nach STADERMANN et al. (1992) kommt es möglicherweise aufgrund des höheren Wasserumlaufs, durch höhere Exkretion der Verdauungssekrete im Rahmen passiver Transportvorgänge, zu vermehrter Absorption nach Raufutteraufnahme.

I. Weitere Einflüsse

Die Calcium-Absorption kann durch Zink, Mangan, Jod, Eisen, Cadmium und Kupfer beeinflusst werden (ELLIS u. HILL, 2005).

Die Supplementierung einer Heu/Pellets-Ration mit 10 g Bierhefe hatte bei sechs zwei- bis dreijährigen Schulpferden einen signifikant erhöhenden Effekt auf die scheinbare Verdaulichkeit von Calcium, Magnesium und Phosphor (HILL u. GUTSELL, 1998).

HINTZ u. SCHRYVER (1976) konnten keinen Einfluss auf die geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Calcium bei Zugabe von 0,4 %, 0,9 % oder 3,4 % Kalium zur Basalration erkennen. Der Kaliummetabolismus wurde im Gegenzug auch nicht durch unterschiedlich hohe Calcium-Gaben beeinflusst.

Der Einfluss der Bewegung auf den Calciummetabolismus wurde von SCHRYVER et al. (1978) mit radioaktiv markiertem Ca geprüft. Die Tiere wurden vier Monate lang, je einen Monat mit verschiedenen Belastungen, getestet, wobei die Effizienz der Ca-Absorption durch die Bewegung nicht beeinflusst wurde.

NEHRING (1991) konnte eine Veränderung der Nettoresorption des Calciums aus Mischfutter von ca. 11 % bei Ruhe bis 17,9 % bei täglicher Bewegung erkennen. Der Effekt konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

CYMBALUK u. CHRISTISON (1990) konnten in ihren Versuchen zum Einfluss der Außentemperatur auf das Pferd feststellen, dass eine niedrige Außentemperatur (-7,9 °C) die wahre Verdaulichkeit von Calcium tendenziell erhöht, die Phosphorverdaulichkeit geht bei tiefen Temperaturen stärker zurück.

Beigaben von Dicalciumphosphat, gedämpftem Knochenmehl, Kalkstein und Monosodium ergaben eine verbesserte, scheinbare Verdaulichkeit aber keine veränderte geschätzte, wahre Verdaulichkeit von Ca. Diese lag bei 70 %, wenn die Zusätze 25 % der Ration ausmachten. Die Supplemente sind günstige und verfügbare Ressourcen von Calcium und Phosphor für das Pferd (SCHRYVER, 1975; HINTZ u. SCHRYVER, 1972a).

b. Renale Exkretion

Die Niere ist ein wichtiges Regulationsorgan innerhalb des Ca-Stoffwechsels beim Pferd. Es entfällt ein weit höherer Prozentsatz der gesamten Ca-Ausscheidung auf die Niere (BOEHNCKE u. SCHNEIDER, 1978; FRAPE, 2004; TELEB, 1984).

Mit einer bilateralen Nephrektomie an fünf ausgewachsenen Ponys konnten TENNANT et al. (1974) die bedeutende Rolle der Niere in der Ca-Homöostase des Pferdes herausstellen. Der Plasmalevel von Ca stieg signifikant von einem Kontrollwert von 12,2 mg/100 ml nach Entfernung der zweiten Niere auf 17,6 mg/100 ml an und behielt sein erhöhtes Niveau bis zum Eintritt des Todes, nach durchschnittlich sieben Tagen, bei.

Im Vergleich zu anderen Tierarten besteht, bei gleicher Ca-Aufnahme mit dem Futter und vergleichbarem Körperreifestadium, bei Pferden eine höhere Absorption und anschließend eine vermehrte Ausscheidung von Ca über den Harn (SCHRYVER et al., 1970a; MORRIS et al., 1984; STANIK, 2006).

Die Exkretion beginnt nach SCHRYVER et al. (1974a) ab einer Ca-Aufnahme von 11 mg/kg KM/Tag, nach TELEB (1984) erst bei einer Ca-Aufnahme von 30 mg/kg KM/Tag und verhält sich linear proportional zu der Menge des absorbierten Calciums (STANIK, 2006; GARTNER et al., 1981; SCHRYVER et al., 1970a; SCHRYVER et al. 1971c).

1. Einflüsse auf die renale Calcium-Exkretion

a. Calcium-Absorption

GARTNER et al. (1981) konnten bei Versuchen mit verschiedenen Grassorten zunächst bei Büffelgras eine negative Ca-Bilanz feststellen, die mit einer geringen renalen Ca-Ausscheidung von 4,9 mg/kg KM/Tag und einer hohen fäkalen Ausscheidung, durch entstandene Calciumoxalate, einherging. Nach Zugabe von CaCl_2 stieg die renale Abgabe auf 8,8 mg/kg KM/Tag, ebenso stieg sie nach Fütterung von CaCO_3 , was für eine erhöhte Ausscheidung nach erhöhter Absorption spricht. Ein ähnlicher Effekt entstand bei HINTZ u. SCHRYVER (1972a) nach Zufütterung von anorganischen Supplementen wie Dicalciumphosphat, woraufhin sich die scheinbare Verdaulichkeit von Calcium im Vergleich zur Basalration erhöhte und die renale Exkretion von Calcium anstieg.

Auch WHITLOCK et al. (1970a) verzeichneten eine höhere, renale Ausscheidung mit steigender Absorption des Ca. Bei einer Absorption von 6 g/100 kg KM/Tag wurden 1,6 g Ca renal ausgeschieden, von 17,1 g absorbiertem Ca/100 kg KM/Tag waren 7 g im Urin und 11 g wurden bei einer Absorption von 42 g/100 kg KM/Tag renal ausgeschieden. Die Menge des renalen Calciums machte im Durchschnitt 21 % der aufgenommenen und 36,5 % der absorbierten Ca-Menge aus.

Nach CAPLE et al. (1982) werden im Durchschnitt 30 % des absorbierten Ca renal ausgeschieden. SCHRYVER et al. (1970a) kamen im Durchschnitt bei unterschiedlichen Ca-

Aufnahmen auf 30 % Ausscheidung des resorbierten Calciums und 13-16 % des aufgenommenen Calciums. WHITLOCK et al. (1970b) verzeichneten bei ihrem ersten Test nach 8 Monaten während Untersuchungen über den Effekt hoher Calciumaufnahmen bei jungen Pferden eine Ausscheidung von 30-42 % der absorbierten Ca-Menge über die Niere, nach 17 Monaten wurden bis zu 50 % renal exkretiert. Die Testpferde nahmen fünfmal mehr Ca auf als die Kontrollpferde (40,8 g/100 kg KM/Tag vs. 8,6 g/100 kg KM/Tag), resorbierten fast viermal mehr (22,7 g/100 kg KM/Tag vs. 6,2 g/100 kg KM/Tag) und schieden fünfmal mehr Ca aus (9,5 g/100 kg KM/Tag vs. 2 g/100 kg KM/Tag), die renale Exkretion war proportional mit dem absorbierten Ca verbunden. Möglicherweise besteht ein Einfluss des Alters auf die renale Exkretion von Ca, da bei Untersuchungen von SCHRYVER et al. (1974a) junge Pferde bis zu 12 Monaten 30 % der wahren, absorbierten Menge ausschieden und Pferde im Alter von 24 Monaten 40-50 %.

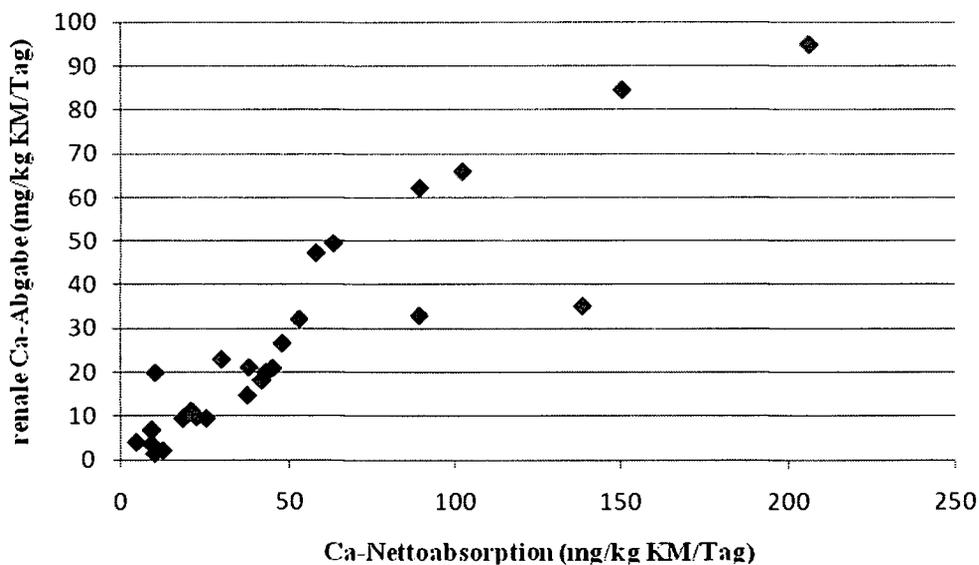


Abb.4: Renale Ca-Abgabe in Abhängigkeit von der Ca-Nettoabsorption (mg/kg KM/Tag)
(Autoren und Daten s. Tab. I im Anhang)

b. Calcium-Aufnahme

Die Abhängigkeit der renalen Ca-Exkretion von der Ca-Aufnahme wurde mehrfach durch Experimente gezeigt. Bei LEWIS (1995) zeigte sich bei zunehmendem Anteil von Ca in der TS (0,3-2,2 %) eine steigende, renale Ca-Konzentration von 0,5 auf 3,3 mg/dl Urin. Auch bei WHITLOCK et al. (1970b) erhöhte sich die renale Ca-Ausscheidung (9,5 g/100 kg KM/Tag vs. 2 g/100 kg KM/Tag) bei höherer Ca-Aufnahme (40,8 g/100 kg KM/Tag vs. 8,6 g/100 kg

KM/Tag). Bei WHITLOCK et al. (1970a) stieg die Menge des Calciums im Urin von 1,6 g auf 9,8 g/100 kg KM/Tag bei Erhöhung der Ca-Aufnahme von 8,5g auf 48 g/100 kg KM/Tag. In Untersuchungen von SCHRYVER et al. (1970a) schieden Ponys bei einer 1,5 % Calcium-enthaltenden Diät 25 % des im Futter enthaltenen, radioaktiv markierten Ca nach 24 h aus, die gleichen Tiere schieden bei 0,15 % Ca im Futter in 24 h 2,5 % des Ca renal aus. Die renale Ausscheidung stieg bei einem steigenden Ca-Angebot von 2,9 g/100 kg KM/Tag - 24,3 g/100 kg KM/Tag von 0,55 g auf 3,3 g/100 kg KM/Tag an. Generell erhöhte sich die Absorption bei niedrigem Ca-Gehalt im Futter, die renale Exkretion ging zurück, bei hoher Calcium-Aufnahme reagierten die Ponys spiegelbildlich.

Bei einer zunehmenden Ca-Aufnahme von 24,7 mg bis zu 266 mg/kg KM/Tag kam es bei Versuchen von TELEB (1984) zu einer stark ansteigenden Ausscheidung von Calcium über der Harn von 8,2-47,4 mg/kg KM/Tag. Sowohl bei TELEB (1984) als auch bei WHITLOCK et al. (1970a) und SCHRYVER et al. (1970a) kam es zu einem proportionalen Anstieg der renalen Ca-Exkretion bei zunehmender Ca-Zufuhr.

Gegensätzliche Ergebnisse gab es in Versuchen von MOFFETT et al. (2001) und NIELSEN et al. (1998). MOFFETT et al. (2001) untersuchten die Wirkung verschiedener Ca-Aufnahmen. In zwei Perioden nahm die renale Exkretion mit zunehmender Ca-Aufnahme ab (Aufnahme: 19,33 g/d - 28,13 g/d; Abgabe: 4,86 g/d auf 2,92 g/d und Aufnahme: 36,6 g/d - 38 g/d; Abgabe: 4,46 g/d auf 3,85 g/d), in einer weiteren Periode kam es bei einer zunehmenden Ca-Aufnahme von 21 g/d auf 32,8 g/d zu einer leicht zunehmenden renalen Exkretion von 1,04 g/d auf 1,45 g/d. Bei NIELSEN et al. (1998) wurden junge, im Training stehende Pferde über 112 Tage mit einer hohen oder basalen Ca-Ration versorgt. Die Exkretion von Ca ging in der hohen Calciumration (Aufnahme 31,9-34,5 g/d) über die Zeit leicht zurück (von 0,6 g/d auf 0,2 g/d), in der Kontrollgruppe kam es bei einer Aufnahme von 24,3-31,2 g/d auch zu einem Rückgang der renalen Ca-Ausscheidung von 2,9 auf 0,4 g/d.

Nach MEYER u. STADERMANN (1990) korreliert die renale Abgabe nicht straff mit der Ca-Aufnahme. Auch MEYER et al. (1990a), LEWIS (1995) und MEYER et al. (1991) sehen keine lineare Beziehung zwischen der Aufnahme und Exkretion des Calciums.

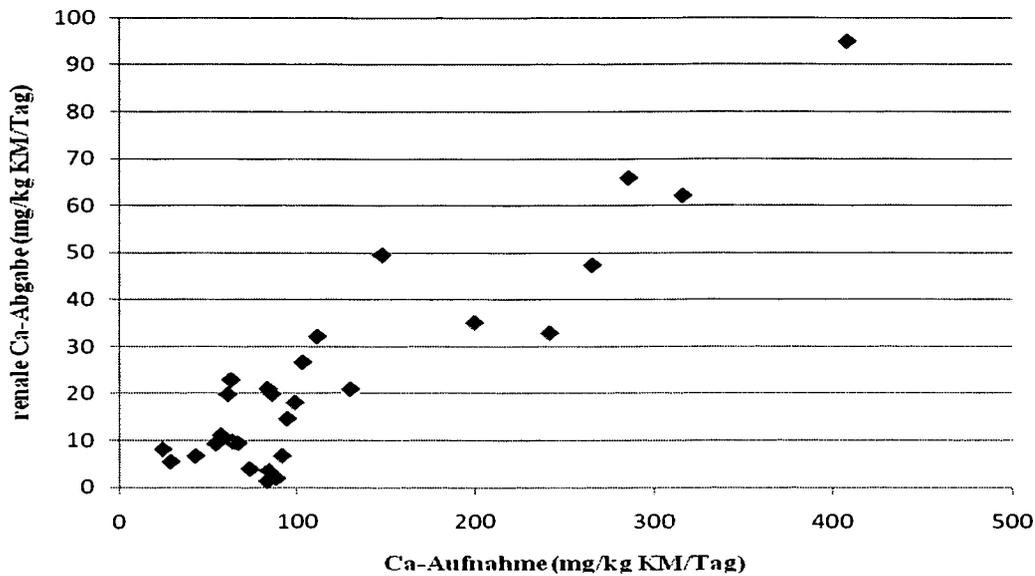


Abb. 5: Renale Ca-Abgabe in Abhängigkeit von der Ca-Aufnahme (mg/kg KM/Tag)
(Autoren und Daten s. Tab. I im Anhang)

c. Anionen-Kationen-Bilanz

Der Einfluss der Anionen-Kationen-Bilanz (DCAB) auf die urinale Ausscheidung von Ca wurde in mehreren Versuchen überprüft. Bei BAKER et al. (1993) wurden 4 Wallache mit vier verschiedenen Rationen über 21 Tage gefüttert, wobei die Rationen eine DCAB von +21, +125, +231 und +350 enthielten. Die renale Calciumausscheidung vermehrte sich bei gleichzeitigem Rückgang der DCAB signifikant. Die Exkretion erhöhte sich von 3,98 g/d bei einer DCAB von +350 auf 39,82 g/d bei einer DCAB von +21 (s. Tab. 8). COOPER et al. (1995) entdeckten ebenfalls eine signifikant zunehmende renale Ausscheidung bei abnehmender DCAB ($p < .01$). Die Werte stiegen von 29,62 mEq/l bei einer DCAB von +370 auf 36,87 mEq/l bei einer DCAB von -25,69.

TOPLIFF et al. (1989) stellten nach einer 24 h-Sammelperiode bei einer niedrigeren, diätischen Elektrolytbilanz (DEB) eine signifikant ($p < .05$) höhere Ca-Konzentration im Urin fest. Bei einer DEB von +150 mEq/kg wurden 9,2 mg/dl Ca im Urin nachgewiesen, bei +6,5 mEq/kg kam es zu einer Ca-Konzentration von 84 mg/dl Urin. Und auch bei WALL et al. (1992) kam es bei gleichbleibender Ca-Aufnahme von 45 g/d zu einem Rückgang der Ca-Ausscheidung von 19,66 g bei einer DCAB von +5 auf 9,12 g bei einer DCAB von +327. Signifikante Unterschiede konnten zwischen den Rationen mit einer DCAB von +5 und +201 ($p < .05$) festgestellt werden (Tab. 8).

Tab. 8: Einfluss der Anionen-Kationen-Bilanz (DCAB) auf die renale Ca-Abgabe

DCAB	Ca-Aufnahme g/d	Abgabe über Urin g/d	Autor
+21	41,5	39,81	Baker et al. (1993)
+125	42,25	31,80	
+231	38,26	13,99	
+350	44,75	3,99	
+5	43,24	19,66	Wall et al. (1992)
+107	45,24	15,22	
+201	44,64	13,84	
+327	46,77	9,12	

COOPER et al. (1995) geben eine vermehrte Freisetzung von Ca aus dem Knochen als mögliche Ursache für die vermehrte renale Ca-Abgabe an, da durch den Anionenüberschuss die Parathormonsynthese gefördert wird.

TOPLIFF et al. (1989) und BAKER et al. (1993) befürchten, dass Pferde die einen Überschuss an Anionen aufnehmen sich in einer negativen Ca-Bilanz befinden.

d. Oxalsäure

Bei Fütterung von Shetlandponys mit und ohne Zugabe von 1 % Oxalsäure in einem Versuch von SWARTZMAN et al. (1978) resultierte die Supplementierung von 1 % Oxalsäure in zurückgehender Retention, eingeschränkter Absorption und steigender fäkaler Ausscheidung. Aufgrund der verminderten Absorption kam es auch zu einer abgeschwächten urinalen Exkretion von Ca. Sie ging nach der Oxalatgabe bei einer Ca-Aufnahme von 0,6 % in der Ration von 17 auf 12 mg/kg KM/Tag und bei einer 0,45 % Ca-Aufnahme von 7 auf 6 mg/kg KM/Tag zurück, wobei das Pony hier in einer sehr negativen Ca-Bilanz war. Die sinkende renale Ausscheidung könnte durch eine Bindung von Ca und Oxalat zu unlöslichem Calciumoxalat gekommen sein, welches dann fäkal ausgeschieden wurde.

Bei McKENZIE et al. (1981a) sank die renale Ausscheidung von 18,7 mg/kg KM/Tag bei Fütterung der Basalration auf 3,3 mg/kg KM/Tag nach Zugabe von 4,3 % Kaliumoxalat, bei einem weiteren Versuch von 17,8 mg/kg KM/Tag auf 1,9 mg/kg KM/Tag. Als Grund für die zurückgehende renale Ca-Ausscheidung geben McKenzie et al. (1981b) die Reabsorption des

Ca aus den glomerulären Filtraten durch das renale tubuläre Epithelium unter dem Einfluss ansteigender Parathormon-Sekretion an.

Ein hoher Anteil von Oxalat im Futter scheint durch eine vermehrte fäkale Ca-Ausscheidung angezeigt zu werden. Je enger das Calcium:Oxalat-Verhältnis desto niedriger wurde die Ca-Konzentration im Harn und desto mehr stieg die fäkale Ausscheidung (BLANEY et al., 1981a).

Die Urinproben vor und nach Gabe von $\text{Ca}(\text{COO})_2$ zeigten in einem Versuch von BLANEY et al. (1981b) keine merklichen Schwankungen in der renalen Ca-Ausscheidung, was für eine geringe Absorption von Calcium aus $\text{Ca}(\text{COO})_2$ spricht.

e. Vitamin D

Nach intramuskulärer Injektion von 10 000 IE Vitamin D/kg KM in vier aufeinanderfolgenden Tagen unterschied sich die renale Exkretion von Calcium nicht signifikant gegenüber der Kontrollgruppe, jedoch schwankte sie stark. Die renale Ausscheidung von P erhöhte sich von 0,7 auf 30 mg/kg KM/Tag (WEISWEILER et al., 1993). Bei BREIDENBACH et al. (1998) erhöhte sich die renale Ca-Ausscheidung bei zwei in negativer Calciumbilanz stehenden Pferden nach einer intramuskulären Vit. D₃ Gabe um 121 % und 145 % , wodurch die negative Bilanz noch erhöht wurde. Diese Steigerung war aber nicht mit erhöhtem ionisiertem Ca im Plasma verbunden. Bei P steigerte sich die renale Abgabe um das 15- und 50-fache. Die erhöhte Abgabe kann nicht mit der Höhe der Futteraufnahme oder der Absorption erklärt werden, da beide nach der Vit. D₃-Verabreichung geringer waren. Möglicherweise wurde vermehrt P aus Knochen mobilisiert, was die renale Ausscheidung von Ca und P erhöhte.

f. Calcium-Kreatinin-Clearance

Die Konzentration von Ca im Urin kann ein wichtiger Indikator für die Versorgungslage des Pferdes sein. Kreatin wird im Muskel durch enzymatische Dehydratation aus Kreatin-Phosphat geformt. Die Menge des täglich produzierten Kreatins ist konstant, steht im Verhältnis zur Muskelmasse und wird renal ausgeschieden, was die Kreatinin-Clearance zu einem akkuraten Maß für die renale Funktion macht (ELLIS u. HILL, 2005). Eine knappe oder inadäquate Versorgung mit Calcium liegt nach LEWIS (1995) bei einer Calcium-Kreatinin-Clearance (Ca/Cr) von über 7,5 und einer Exkretion von weniger als 4 mg Ca/kg KM/Tag vor. Nach MEYER u. STADERMANN (1990) ist die Versorgung bei einer Ca/Cr von > 7,5 und einer realen Abgabe von < 4 mg/kg KM/Tag marginal, bei einer Ca/Cr unter <3,5 und einer renalen Abgabe von > 8 mg/kg KM/Tag ausreichend. Bei sehr niedrigen Ca/Cr Werten unter 2 liegt sicher eine Überversorgung vor, Werte zwischen 2 und 4 schließen eine überhöhte Aufnahme

nicht aus, da Aufnahme und Abgabe nicht linear sind (MEYER u. STADERMANN, 1990; LEWIS, 1995) (Tab. 9).

Tab. 9: Renale Ca-Exkretion und Creatine/Calciumrelation bei verschiedenen Versorgungslagen (MEYER u. STADERMANN, 1990)

	marginale Zufuhr	knappe Zufuhr	ausreichende Zufuhr	Autor
renale Ca-Abgabe in mg/kg KM/Tag	<4	4-8	>8	SCHRYVER et al. (1970a) TELEB (1984)
Cre/Ca Quotient	>7,5	7,5-3,5	<3,5	

Die renale Ca-Ausscheidung kann durch Bewegung und durch das aufgenommene Futtercalcium beeinflusst werden, daher sollten Proben nach einem Ruhetag ohne Transport und nach 8-12 h Fasten genommen werden (LEWIS, 1995; MEYER u. STADERMANN, 1990). Bei Untersuchungen von CAPLE et al. (1982) wurden bei Stuten zwischen drei und sechs Jahren bei wechselnden Rationen Urinkonzentrationen und Ca/Cr aufgezeichnet. Die Ca-Konzentration im Urin sank von 40 mM bei Heuaufnahme auf 1-2 mM bei Fütterung von Hafer, Häcksel und Kleie ab, die Ca/Cr sank von 3,74 auf 1,87. Nach Zugabe von 25 g CaCO₃ stieg die Ca/Cr auf 4,6 und die renale Ca-Konzentration auf 10 mM.

Die Ca/Cr variiert sehr stark über 24 h mit einem Maximum zwischen 12-18 Uhr und zeigt keine Korrelation mit anderen Mineralien, die Ca-Konzentration im Urin lag bei freiem Futterzugang im Durchschnitt bei 27,75 mg/dl und zeigte keine Variation über die Zeit. Die fraktionelle Exkretion (FE) von Ca, die Menge der Substanz im Urin/die Menge der Substanz die glomerulär gefiltert wird, zeigte keine signifikanten Unterschiede über die Zeit und erreichte ihr Maximum von 3,41 % zwischen 12-18 Uhr (MORRIS et al., 1984). BICKHARDT et al. (1996) erzielten in ihren Versuchen eine Spanne der Ca-FE von 1,3-33,2 %, diese scheint beim Pferd bei freier Nahrungsaufnahme normal zu sein.

g. Postprandiale Ausscheidung und Einfluss der Bewegung

Die postprandiale renale Ca-Ausscheidung verläuft charakteristisch in einer Glockenkurve. Unmittelbar vor und nach der Fütterung ist die renale Ausscheidung gering, postprandial steigt sie dann bis zur 4-8 h auf ein Maxima an und kehrt stetig auf die Ausgangswerte zurück (MEYER et al., 1990a; SCHNURPEL, 1991) (Abb. 6). In Ruhe erreichte die renale Ausscheidung bei MEYER et al. (1990a) bei reiner Kraftfütterung ihr Maximum bei 7 h postprandial, die Ausscheidung war hier im Durchschnitt am geringsten (4,4 mg/kg KM^{1/2} Tag (12 h)). Bei reiner Heurration zeigten sich signifikant höhere Abgaben von Ca über den Harn, es kam zu einem steilen postprandialen Anstieg der Ausscheidung mit einem Maximum nach

4 h. Durchschnittlich wurden 12,8 mg Ca/kg KM^{1/2} Tag renal ausgeschieden. Ähnliche Werte traten nach Aufnahme einer Heu-/Mischfütterung mit einer mittleren Ca-Exkretion von 11,5 mg/kg KM^{1/2} Tag auf, wobei hier die maximale Ca-Ausscheidung 6 h postprandial zu verzeichnen war. Ähnliche Kurvenverläufe zeigten sich auch in Versuchen von MEYER et al. (1991) und SCHNURPEL (1991) mit Maxima der Ca-Ausscheidung 4 h postprandial bei Heufütterung, trotz langsamer Futteraufnahme, und 7-8 h nach Aufnahme von Mischfutter. Bei gleicher Ca-Aufnahme wurde bei Luzerneheu deutlich mehr Ca renal ausgeschieden als bei Mischfutter (56 % vs. 19 % der Aufnahmemenge) (STADERMANN et al., 1992).

Bei Bewegung geht bei vorhergehender, hoher renaler Ca-Ausscheidung (Heurration oder hohe Ca-Aufnahme) die renale Exkretion signifikant zurück, ansonsten bricht der postprandiale Anstieg ab oder geht zurück. Bei MEYER et al. (1990a) kommt es bei reiner Kraftfütterung zu einem Abfall der Ca-Exkretion von 4,4 mg auf 3,5 mg/kg KM^{1/2} Tag, die Exkretion steigt nach der Bewegungsperiode auch nicht mehr an. Nach Heufütterung kommt es, nach einem signifikanten Rückgang der Exkretion auf 8,4 mg/kg KM^{1/2} Tag, wieder zu einem Anstieg der Ausscheidung bis zu einem Maximum 8 h postprandial. Bei der gemischten Ration kam es bei Bewegung zu tendenziell höherer Ca-Ausscheidung, nach der Bewegung ging die Ca-Ausscheidung zurück. Bei MEYER et al. (1991) zeigte sich nach Bewegung bei Heufütterung eine konstante Ca-Ausscheidung ohne Anstieg, nach der Pelletsfütterung stieg die renale Ca-Ausscheidung nach Bewegung bis zu einem Maximum 8 h postprandial an. Insgesamt kam es durch Bewegung zu einer Abnahme der renalen Ca-Ausscheidung von 50-60 % bei Rau- und Mischfutter. Bei SCHNURPEL (1991) kam es zu einer Depression der Ca-Exkretion während der Bewegung von 50 % bei Rau- und Mischfütterung, bei beiden Futtermitteln kam es nach der Bewegung wieder zu einem Anstieg der Ca-Ausscheidung.

SCHRYVER et al. (1978) wiesen in Ruhe nach Fütterung einer Heu-/Mischfütterung 16 % der Aufnahmemenge von Ca im Urin nach, bei Belastung des Pferdes wurden nur noch 8 % der aufgenommenen Ca-Menge renal exkretiert, wobei sich der Rückgang bei stärkerer Belastung noch erhöhte.

Die Ca-Konzentration im Harn zeigt bei mäßiger Ca-Aufnahme postprandial einen ähnlichen Verlauf wie die Ca-Abgabe in mg/kg KM, sie steigt im Verlauf auf 2-3 g/l an, bei Luzerneheufütterung wurden Werte bis 16 g/l erreicht (MEYER et al. 1990a). Die Ca-Clearance ging nach Bewegung und hoher Ca-Aufnahme signifikant zurück (1,240 ml/min/kg KM auf 0,232 ml/min/kg KM), bei der Kraftfutter- und Heurration kam es zu einem Rückgang von 22 %, bei der gemischten Ration wich die Ca-Clearance in Bewegung (0,25 ml/min/kg KM) nur gering von der in Ruhe (0,29 ml/min/kg KM) ab. Insgesamt war die Ca-Clearance bei Heufütterung höher als bei Mischfutter (MEYER et al., 1990a). SCHNURPEL (1991) konnte ähnliche Beziehungen bei der Ca-Inulin-Clearance feststellen und erklärt die ausgeprägte postprandiale Rhythmik mit dem Verlauf der Plasmawerte des Ca, da beide Kurven annähernd kongruent sind und somit gleiche Bedingungen für die glomeruläre Filtration und tubuläre Rückresorption vorlagen. Die ausgeprägte Rhythmik hängt nach MEYER et al. (1990a) von der Zeit der höchsten Absorption nach der Futteraufnahme, evtl. auch von einer Sekretion in den Dickdarm ab.

Im Vergleich zur Aufnahme lag die renale Ca-Ausscheidung bei Heurrationen signifikant höher als bei Mischfutter (MEYER u. STADERMANN, 1990; SCHNURPEL, 1991; MEYER et al., 1990a), möglicherweise aufgrund höherer praecaecaler Absorptionsraten oder geringerer coloner Exkretion nach Heufütterung. Der Rückgang der Ca-Exkretion bei Bewegung kann nicht auf die kutanen Verluste zurückgeführt werden (SCHNURPEL, 1991; MEYER et al. 1990b), möglicherweise kommt es durch verminderte Nierendurchblutung zu einem Abfall der Ca-Ausscheidung in Bewegung (MEYER et al., 1990a).

Bei Raufutterrationen geht die P-Ausscheidung gegen null, bei Krippenfutter werden mehr oder weniger große Mengen ausgeschieden (MEYER u. STADERMANN, 1990).

Eine analytische Erfassung der renalen P-Ausscheidung war bei MEYER et al. (1990a) nur während Mischfütterungen möglich, der postprandiale Verlauf war gleichmäßig (im Mittel 2,6 mg/kg KM/½ Tag), abgesehen von geringeren Werten direkt nach der Fütterung. Während der Bewegung lag die P-Ausscheidung bei fast null. Die geringe renale P-Exkretion bei raufutterhaltigen bzw. rohfaserreichen Rationen hängt vermutlich mit dem stärkeren Fluss P-reicher Verdauungssekrete in den Verdauungskanal zusammen (MEYER et al., 1982).

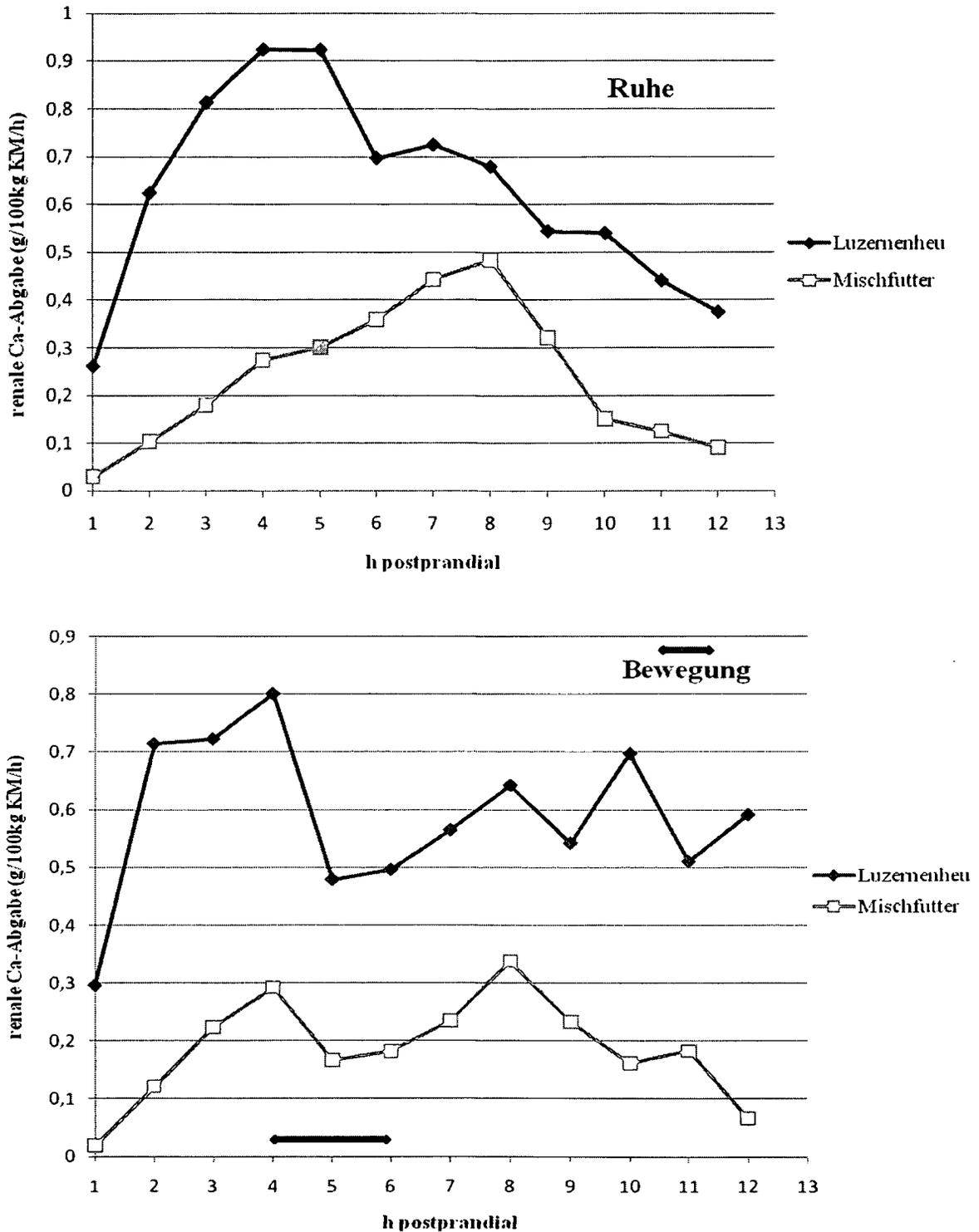


Abb. 6: Postprandialer Verlauf der renalen Ca-Exkretion (g/100 kg KM/Tag) bei Luzerneheu- bzw. Mischfutterfütterung in Ruhe und Bewegung (SCHNURPEL, 1991) (Daten s. Tab. II im Anhang)

h. Aufnahme verschiedener Calcium- und Phosphormengen

Bei Untersuchungen an Ponys verschiedener Altersklassen waren bei einer niedrigen P-Diät die renalen Ausscheidungen des selbigen Minerals sehr gering, die Konservierung schien bei älteren Pferden noch effektiver. Jährlinge, die Rationen mit geringem Ca- und P-Gehalt bekamen, schieden signifikant mehr P ($p < .01$) aus als Jährlinge, die einen hohen Ca und geringen P-Gehalt mit der Nahrung aufnahmen.

Tab. 10: Zusammenhänge zwischen Aufnahme und renaler Ausscheidung von Calcium und Phosphor

Ca- Aufnahme mg/kg KM/Tag	P- Aufnahme mg/kg KM/Tag	Ca:P Verhältnis	renale Ca- Abgabe mg/kg KM/Tag	renale P- Abgabe mg/kg KM/Tag	Autor
108	90	1,2:1	26	5,4	CAPLE et al. (1982)
90	414	0,2:1 (1:4,6)	7,4	25,9	
351	387	0,9:1 (1:1,1)	18	31,4	
100	46	2:1	8,8	5,2	MEYER et al. (1990a)
52	36	1,5:1	25,6	0,2	
260	52	5:1	206,8	0,2	
84	16	1,2:1	23	1,2	
43,1	203	0,14:1	5	65,9	ARGENZIO et al. (1974)
42,6	200	0,2:1	4,7	68	
41,3	43,8	0,9:1	5,6	8,7	BLANEY et al. (1981b)
28,5	40,2	0,7:1	5,9	7,9	
147,9	128,8	1,15:1	49,6	8,1	VAN DOORN et al. (2004)
315,6	122,3	2,58:1	62,6	2,37	
535,2	125,2	4,27:1	84,6	1,11	
24,7	39,3	0,6:1	8,2		TELEB (1984)
61,2	41,6	1,5:1	19,9		
68,2	42,1	1,6:1	6,2		
266	41,6	6,5:1	47,4		

Fast 90 % der absorbierten P-Menge wurden nach einer Diät mit wenig Ca und viel P ausgeschieden, wo hingegen bei Aufnahme von hohem Ca und P-Mengen nur 40-50 % des absorbierten P exkretiert wurden (KICHURA et al., 1983).

Bei einer hohen Phosphor- und niedrigen Calcium-Aufnahme über das Futter passt sich die Niere kompensatorisch durch Konservierung von Ca und Eliminierung von P an. Bei P-Aufnahmen von 20 g/100 kg KM/Tag und Ca-Aufnahmen von 4,31 g/100 kg KM/Tag wurden 0,5 g Ca/100 kg KM/Tag und 6,95 g P/100 kg KM/Tag ausgeschieden (ARGENZIO et al., 1974).

Auch SCHRYVER et al. (1971a) konnten einen Zusammenhang zwischen der P-Aufnahme und der renalen P-Ausscheidung darlegen, eine Exkretion von P beginnt erst mit einer Aufnahme von 29 mg/kg KM/Tag. Bei Aufnahme von radioaktiv markiertem P wurde bei geringen Aufnahme-Mengen 2,5 % im Urin nachgewiesen, bei hohen Aufnahmemengen 13-18 %. Eine Erhöhung des Calciumgehaltes in der Ration von 0,15 % auf 1,5 % zog eine höhere P-Ausscheidung bei der niedrig konzentrierten Ca-Diät (0,15 %) nach sich. Auch bei SCHRYVER et al. (1970a) ging die P-Exkretion bei steigender Ca-Aufnahme zurück, ebenso bei VAN DOORN et al. (2004), wobei Veränderungen in der P-Exkretion nur geringe Bedeutung haben, da P hauptsächlich fäkal ausgeschieden wird.

In Versuchen von SCHRYVER et al. (1971b) verringerte sich bei Aufnahme einer hohen Phosphordiät die renale Exkretion von Calcium von 2,67 g/100 kg KM/Tag (bei Aufnahme einer Basaldiät) auf 0,36 g/100 kg KM/Tag, was einem Rückgang der renalen Ca-Ausscheidung von 21,6 % entspricht. Bei einer gleichbleibenden Ca-Aufnahme wurde bei niedriger P-Aufnahme mehr Ca ausgeschieden als bei hoher P-Aufnahme. Der gleiche Einfluss einer hohen P-Diät auf die Ca-Exkretion zeigte sich in Versuchen von CAPLE et al. (1982) und ARGENZIO et al. (1974).

i. Magnesium

Magnesium steigert nach erhöhter Gabe die wahre Verdaulichkeit von Calcium von 65 % auf 84 %, die renale Ausscheidung blieb aber in Versuchen von HINTZ u. SCHRYVER (1973) trotz höherer Verdaulichkeit konstant und machte 13 % des aufgenommenen Ca aus. Ein Einfluss des Magnesiums auf die renale Exkretion von Ca wird auch von SCHRYVER et al. (1974a) eher ausgeschlossen.

j. Protein

Um den Einfluss von Proteinen auf die renale Ca-Ausscheidung darzulegen, verabreichten SCHRYVER et al. (1987) Rationen mit Proteinanteilen von 9 %, 14 % und 20 %. Im Alter von sechs Monaten schieden die Pferde mit steigendem Proteinanteil weniger Ca aus (von

26 % urinalem Ca bei 9 % Protein auf 15 % urinalem Ca bei 20 % Protein). Im Alter von einem Jahr kam es zu einem Anstieg des ausgeschiedenen Ca von 25 % bei 9 % Proteinanteil, auf 30 % bei 20 % Proteinanteil im Futter. SCHRYVER et al. (1987) konnten keinen signifikanten Einfluss des Proteinlevels auf die renale Ausscheidung von Ca feststellen.

k. Glucocorticoide

GLADE et al. (1982) untersuchten den Einfluss von Glucocorticoiden auf den Calcium-Metabolismus und spritzten dafür täglich 0 mg, 0,5 mg oder 5 mg Dexamethasone/100 kg KM intramuskulär über elf Monate. Nach Injektion von radioaktiv markiertem Ca konnte nach zwei Monaten ein Anstieg der renalen Ausscheidung des radioaktiv markierten Ca bei steigender Dexamethasongabe (0-5 mg) von 20 auf 33,6 % im Urin nachgewiesen werden, nach sieben Monaten stieg der Anteil des injizierten, radioaktiven Ca im Urin von 11,6 auf 34,4 % bei 0-5 mg Dexamethasongabe. Nach zehn Monaten stiegen die Werte von 8,5 % bei keiner Glucocorticoidgabe auf 18,9 % bei Verabreichung von 5 mg des Glucocorticoides. Somit vermehrte Dexamethason mit steigender Verabreichung die renale Ca-Ausscheidung, jedoch kam es über die Zeit zu einem Rückgang der Ca-Ausscheidung.

III. Diskussion

Die vorliegende Literaturstudie soll eine Übersicht über Erkenntnisse in der Absorption des Calciums und mögliche variierende Effekte sowie Ergebnisse zu Untersuchungen über die renale Exkretion von Calcium beim Pferd darstellen, um einen möglichen Forschungsbedarf offen zu legen.

Untersuchungen zur Lokalisation der Absorption von Ca beim Pferd wurden auf vielfältige Weise durchgeführt. SCHRYVER et al. (1970b), STADERMANN et al. (1992) und FLOTHOW (1994) nutzten radioaktiv markiertes Calcium um bei lebenden Pferden und post mortem den Ort der höchsten Absorption im Pferdedarm festzustellen. MEYER et al. (1982) setzten eine Ileostomie ein, FRANK et al. (1983) induzierten Calcium direkt ins Caecum und umgingen somit den Dünndarm und MEYER et al. (1979) entfernten das Caecum, um mögliche Einflüsse dieses Darmabschnittes auf die Absorption von Ca zu untersuchen. Insgesamt wiesen alle Versuche den Dünndarm als Hauptort der Ca-Resorption nach. Eine Schätzung über die Menge des absorbierten Calciums wurde durch SCHRYVER et al. (1970b) über die Unterschiede zwischen der kumulativen partiellen Absorption in angrenzenden Bereichen kalkuliert und ergab für den proximalen Dünndarm eine geschätzte Nettoabsorption von 40 %, für den distalen Dünndarm von 25 %, die Resorptionsrate für den gesamten Dickdarm wurde auf 10 % geschätzt. MEYER et al. (1982) lieferten zustimmende Schätzungen von 50-80 % praecaecale Nettoabsorption. Futterart und aufgenommene Ca-Menge haben keinen Einfluss auf den Ort der Absorption (SCHRYVER et al., 1970b, SMILEY et al., 1985). Somit lässt sich feststellen, dass es im Bezug auf die Lokalisation der Ca-Absorption übereinstimmende Ergebnisse gibt, die keine weiteren Nachforschungen benötigen.

Im Bezug auf den Transportmechanismus in der Calcium-Absorption gibt es nur wenig gesicherte Daten bezüglich des Pferdes. Mehrere Autoren geben an, dass Calcium passiv diffundiert oder durch aktiven Transport über die intestinale Mukosa gelangt (SCHRYVER, 1975; SCHRYVER et al., 1974a; BOEHNCKE u. SCHNEIDER, 1978; WASSERMANN, 1968; KIRCHGESSNER, 2008). HARMEYER et al. (1992) konnten eine signifikant niedrigere Konzentration von ionisiertem Ca in der Ingesta des Dünn- und Dickdarms (0,2-1,2 mmol) als im Plasma feststellen (1,7 mmol/l), was auf einen aktiven intestinalen Transport hindeutet. Nach STANIK (2006) ist der aktive Transport von Ca hauptsächlich im proximalen Dünndarm, im Duodenum und im oberen Abschnitt des Jejunums lokalisiert. FULLMER u. WASSERMANN (1975) identifizierten das CaBP im Dünndarm des Pferdes, welches Ca aktiv über die intestinale Mukosa transportiert und unter Vit. D₃-Einfluss steht. Die Rolle von Vitamin D₃ beim Calciumtransport ist umstritten. Der Gehalt von Calcidiol (25OHD₃) und Calcitriol (1,25-(OH)₂D₃) im Plasma des Pferdes ist mit < 5,0 nmol/l (Calcidiol) wesentlich niedriger als bei anderen Haussäugetieren. Eine Injektion von 26 µmol Vitamin D₃/100 kg KM führte zu keinem Anstieg von 25OHD₃ und 1,25-(OH)₂D₃ im Plasma (HARMEYER et al., 1992). Bei Versuchen von WEISWEILER et al. (1993) und BREIDENBACH et al. (1998)

kam es nach intramuskulärer Gabe von 10 000 IE Vit. D₃/kg KM/Tag zu keiner gesteigerten Nettoabsorption des Ca.

HINTZ et al. (1973a) verzeichneten nach oralen Vitamin D₃ Zulagen von 0 bis 3330 IE/kg KM/Tag eine ansteigende, wahre Ca-Verdaulichkeit von 55 auf 89 % bei steigender Vitamin D₃ Verabreichung, bei weiteren Bilanzuntersuchungen kam es zu einem Rückgang auf bis zu 33,3 %. Über den passiven Ca-Transport beim Pferd konnten keine fundierten Quellen gefunden werden, somit bedarf es im Bereich der Transportmechanismen in der Absorption von Ca im Bezug auf die Art des Transportes und den Einfluss von Vitamin D weiterer Überprüfung. WEISWEILER et al. (1993) konnten keinen Unterschied in der renalen Ca-Ausscheidung nach intramuskulärer Gabe von 10 000 IE Vit. D₃/kg KM/Tag im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen, bei BREIDENBACH et al. (1998) stieg die renale Ausscheidung von Ca bei den zwei Testpferden um 121 % und 145 %. In beiden Versuchen kam es zu einer 43- bis 50-fachen Steigerung der P-Exkretion über den Harn. Vitamin D scheint beim Pferd generell eine besondere Stellung einzunehmen, leider differieren bisherige Versuchsergebnisse stark, wodurch eine klare Aussage über den genauen Einfluss erschwert wird.

Bei zunehmender, bedarfsüberschreitender oraler Ca-Aufnahme nimmt die Menge des absorbierten Ca zu, die Effizienz der Absorption nimmt jedoch ab. Dieser Effekt, der möglicherweise schädigende Einflüsse einer Überversorgung neutralisieren soll, wurde von mehreren Autoren nachgewiesen (SCHRYVER et al., 1970a; WHITLOCK et al., 1970a; SMILEY et al., 1985; VAN DOORN et al., 2004; MOFFETT et al., 2001; BOEHNCKE u. SCHNEIDER, 1978, TELEB, 1984). Die Effizienz war mit 70 % bei einer Ca-Aufnahme unter 10 g/100 kg KM/Tag am höchsten.

MOFFETT et al. (2001) wiesen im Vergleich zu Untersuchungen an 12-15 Monate alten Pferden bei 18 Monate alten Quarter Horses eine höhere Absorption aus Rationen mit geringem Ca-Gehalt nach als aus Rationen mit einem hohen Ca-Gehalt (15,6 g/d vs. 23,2 g/d). Als Grund dafür geben sie denkbare, ungenügende Reserven durch vorhergehende geringe Ca-Aufnahmen an, die zu einer erhöhten Absorption führten, um den Bedarf zu decken. Der Effekt unterschiedlicher Ca-Aufnahmen auf die Resorption von Ca wurde vielfach geprüft und führt zu ähnlichen Ergebnissen, daher sind eher keine weiteren Erhebung in diesem Bereich nötig.

Übereinstimmend wurde von mehreren Autoren eine vermehrte renale Exkretion bei zunehmender Absorption von Ca festgestellt (GARTNER et al., 1981; HINTZ u. SCHRYVER, 1972a; WHITLOCK et al., 1970b; CAPLE et al., 1982; SCHRYVER et al., 1970a), die Menge des renalen Ca machte einheitlich 30-40 % der absorbierten Ca-Menge aus.

Der Einfluss der Ca-Aufnahme auf die renale Exkretion ist strittig. WHITLOCK et al. (1970b), SCHRYVER et al. (1970a) und TELEB (1984) legten eine proportional steigende Ca-Exkretion bei zunehmender Ca-Aufnahme dar, andere Autoren sehen keine straffe, positive Korrelation zwischen Aufnahme und Abgabe (MEYER u. STADERMANN, 1990;

LEWIS, 1995; MEYER et al., 1990a) und bei MOFFETT et al. (2001) und NIELSEN et al. (1998) sank die renale Ca-Ausscheidung bei ansteigender Ca-Aufnahme. Die Art der aufgenommenen Futtermittel und die Verwertbarkeit des Calciums aus diesen spielt wohl eine erhebliche Rolle, daher sind Vergleiche von Versuchen mit verschiedenen Ca-Quellen schwierig.

Um den Einfluss von P auf die Ca-Absorption, sei es in Form von anorganischem P oder Phytat, festzustellen, wurden mehrere Versuche durchgeführt. Vergleichende Versuche mit Natrium Phytat und NaH_2PO_4 -Gabe zeigten den gleichen Effekt (SCHRYVER et al., 1971c). Bei SCHRYVER et al. (1971b) äußerte sich ein Rückgang der geschätzten, wahren Ca-Verdaulichkeit um 53 % bei einer P-Aufnahme von 1,2 g/100 g Diät. Des Weiteren wurde deutlich, dass ein hoher Phytatanteil in der Ration (50-65 %) zu einer verringerten Ca-Absorption führen kann (Gesamtnettoabsorption 14 %) (SCHRYVER et al., 1971c; HINTZ et al., 1973b). Bei NEHRING (1991) kam es nach Mischfutterfütterung mit hohem Phytatanteil (50 %) ebenfalls zu einer hohen Ca-Absorptionseinbuße von 34 % gegenüber Phytat-armem Heu. Die Depression der Ca-Verdaulichkeit ist nach mehreren Quellen auf eine unabsorbierbare Calcium-Phytin-Komplexbildung im Dünndarm zurückzuführen. SCHRYVER et al. (1971c) schreiben Phytin eine höhere Bedeutung als Inhibitor der Ca-Absorption aufgrund des höheren Vorkommens in Getreide zu. Jedoch konnten MORRIS-STOKER et al. (2001) keinen Effekt der Phytin-Ration auf die Verdauung von Ca feststellen, nur nach dauerhafter Fütterung hoch dosierter Phytinmengen bei gleichzeitiger inadäquater Ca-Supplementierung. SCHRYVER et al. (1974b) sehen einen Einfluss durch anorganischen oder Phytatphosphor nur bei unzureichender Ca-Versorgung. Eine Hemmung der Ca-Absorption durch eine P-Übersorgung stellte sich in mehreren Versuchen heraus, jedoch ist noch unklar ob die Inhibition nicht manchmal eher durch marginale Ca-Versorgung bedingt war als durch anorganischen Phosphor oder Phytat. Zusammenhänge zwischen der Höhe der Aufnahme von Ca und P, dem Anteil an anorganischem Phosphor oder Phytat und der Absorption von Ca erfordern weitere Studien.

Dass Oxalate zweiwertige Kationen in eine unlösliche Form binden und so ihre Absorptionsfähigkeit vermindern, zeigten Versuche von SWARTZMAN et al. (1978), KIRCHGESSNER (2008), FRAPE (2004) und VON ENGELHARDT u. BREVES (2005). Dennoch kam es bei HINTZ et al. (1984) bei Ca:Oxalat-Verhältnissen von 1,7:1 und 3:1 zu keinem Einfluss auf die Ca-Absorption, möglicherweise durch Alfalfa als guten Ca-Lieferant. Aufgrund der Ergebnisse weiterer Versuche zur Oxalatwirkung auf die Ca-Absorption kann man sagen, dass eine Beeinträchtigung der Ca-Verwertung erst ab einem Ca:Oxalat-Verhältnis unter 1 auftritt. Bei einem Ca:Oxalat-Verhältnis von 0,07:1 sank die geschätzte wahre Ca-Verdaulichkeit bei MCKENZIE et al. (1981a) bis auf 22 % ab. Durch die verminderte Absorption des Calciums ist die renale Ausscheidung ebenfalls vermindert, bei MCKENZIE et al. (1981a) kam es bei 4,3 % Kaliumoxalat in der Ration zu einem durchschnittlichen Rückgang der Ca-Exkretion von 85 %. Die Ca-Exkretion findet bei hohen Oxalatgehalten im Futter vornehmlich fäkal durch die Bildung unabsorbierbarer Calcium-

Oxalat-Komplexe statt. Der nachteilige Einfluss von Oxalat auf die Ca-Absorption wurde mehrfach in Versuchen aufgezeigt und bedarf besonderer Beachtung in der Rationserstellung.

Nach SCHRYVER et al. (1971c) beeinflusst ein Ca:P-Verhältnis von 4,31:1 die P-Absorption nicht, wenn die P-Aufnahme adäquat ist, jedoch hat eine hohe P-Diät nachteilige Effekte auf die Ca-Resorption, was eine Ration unzureichend für den Bedarf eines Tieres machen kann. Untersuchungen von WHITLOCK et al. (1970b) und SCHRYVER et al. (1971b) belegen den unbedeutenden Einfluss eines hohen Ca:P-Verhältnisses auf die P-Verwertung. VAN DOORN et al. (2004) konnten eine gehemmte P-Absorption ab einem Ca:P-Verhältnis von 2,58:1 feststellen. SCHRYVER et al. (1971c) und ARGENZIO et al. (1974) erkannten den hemmenden Effekt hoher Phosphoraufnahmen bei Verhältnissen von 0,2 und 0,3:1, höchste Effizienzen und höchste wahre Verdaulichkeiten von Ca wurden von SCHRYVER et al. (1970a) bei einem Verhältnis von 1,86:1, von HINTZ et al. (1973b) bei 1,71:1 und von WHITLOCK et al. (1970b) bei einem Ca:P-Quotienten von 1,16:1 festgestellt. Eine akzeptable Spannweite des Ca:P-Verhältnisses sollte die Verwertbarkeit beider Mineralien maximal begünstigen. Ihre Grenzbereiche werden von homöostatischen Reaktionen und von der Verfügbarkeit von Ca und P aus dem Futter definiert. Nach den Ergebnissen der Autoren liegt die Spanne, bei der eine maximale Verwertbarkeit beider Mineralstoffe gewährleistet ist, zwischen 1:1 und 2:1.

Die renale Exkretion von Ca und P steigt bei beiden Mineralien mit zunehmender Aufnahme und nimmt bei beiden Mineralien bei Unterversorgung ab. Calcium wird bei gleichbleibender Zufuhr bei niedriger P-Aufnahme mehr exkretiert als bei hoher P-Aufnahme, ebenso wird P bei gleichbleibender Zufuhr bei niedriger Ca-Aufnahme mehr renal ausgeschieden als bei hohen Ca-Gaben. Somit wird deutlich, dass die renale Exkretion von Ca und P durch eine erhöhte Zugabe des anderen Minerals gehemmt wird. Diese Interaktion von Ca und P wurde in einigen Versuchen dargelegt (ARGENZIO et al., 1974; SCHRYVER et al., 1971a; SCHRYVER et al., 1970a; VAN DOORN, 2004; SCHRYVER et al., 1971b). Inwieweit das Ca:P-Verhältnis hierbei eine Rolle spielt wurde in diesen Versuchen nicht berücksichtigt. Die Mehrheit des aufgenommenen P wird fäkal exkretiert, daher sollte eine zusätzliche übermäßige renale P-Ausscheidung, aufgrund möglicher daraus resultierender, negativer P-Bilanzen, vermieden werden. Dies spricht für ein Ca:P-Verhältnis von mindestens 1:1, da durch eine höhere Ca-Aufnahme die P-Exkretion über den Harn abnimmt.

Fettsäuren neigen als Carbonsäuren dazu, mit Metallen (wie Ca⁺⁺) unabsorbierbare Seifen zu bilden, was durch das alkalische Milieu im kaudalen Teil des Dünndarms begünstigt wird und schon bei mehreren Tierarten untersucht wurde (FLOTHOW, 1994). Es ist festzustellen, dass keiner der Autoren weder einen gesicherten positiven noch negativen Einfluss auf die Ca-Absorption durch Fettzulagen nachweisen konnte. In Versuchen von FLOTHOW (1994) kam es zu einer tendenziellen Depression der Ca-Nettoabsorption, die Ursache dafür konnte aber

nicht mit Sicherheit aufgezeigt werden. TELEB (1984) konnte eine Beeinträchtigung der Fettabsorption durch höhere Ca-Gaben aufzeigen, die Nettoresorption des Fettes ging von 80 % auf 36 % bei steigender oraler Ca-Aufnahme von 50 mg Ca/kg KM/Tag auf 250 mg Ca/kg KM/ Tag zurück. Somit wird deutlich, dass weitere Nachforschungen über Interaktionen von Ca und Fetten interessant wären.

Gesicherte Daten gibt es in punkto DCAB beim Pferd. Vier Autoren (BAKER et al., 1993; COOPER et al., 1995; TOPLIFF et al., 1989; WALL et al., 1992) konnten eine signifikante Vermehrung der Ca-Ausscheidung bei gleichzeitig sinkender DCAB feststellen. Weitere Nachforschungen bezüglich der Ursachen sind nötig, eine mögliche Freisetzung von Knochencaesium durch eine Parathormon-anregende Wirkung der Anionen wird vermutet. Fest steht, dass bei einem Anionenüberschuss im Futter einer negativen Ca-Bilanz vorgebeugt werden sollte.

Bezüglich der Magnesium-Calcium-Interaktion beim Pferd gibt es nur wenige Angaben in der Literatur. HINTZ u. SCHRYVER (1973) konnten eine deutliche Zunahme der geschätzten, wahren Verdaulichkeit von Ca (65 % auf 84 %) bei steigendem Magnesiumgehalt (0,16 %-0,86 %) nachweisen. Nach MEYER u. AHLWEDE (1977) und TELEB (1984) steigert eine zunehmende orale Ca-Aufnahme die praecaecale Nettoabsorption von Magnesium, nach HINTZ u. SCHRYVER (1972b) hat sie keinen Einfluss und nach FRAPE (2004) wird die Resorption von Mg durch steigende Ca-Aufnahmen verringert. Einflüsse des Magnesiums auf die renale Exkretion von Calcium konnten Untersuchungen von HINTZ u. SCHRYVER (1973) und SCHRYVER et al. (1974a) nicht nachweisen. Aufgrund der essenziellen Bedeutung des Magnesiums für den Körper sind Informationen über Wechselbeziehungen zwischen Ca und Mg bedeutend, es erfordert weitere Recherche in diesem Bereich.

HINTZ et al. (1971) konnten nach Proteingaben über eine Mischung aus Milchprodukten mit einem Laktosegehalt von 51 % eine Erhöhung der Ca-Nettoabsorption nachweisen.

WASSERMANN u. TAYLER (1969) berichten von einem positiven Einfluss der Aminosäure Lysin und des Disaccachrids Laktose auf die Ca-Absorption in verschiedenen Spezies. Im Bezug auf das Pferd gibt es kaum Studien. Nach Zugabe von Lysin in Versuchen von SCHRYVER (1975) und HINTZ et al. (1971) kam es zu keiner Beeinflussung der praecaecalen Ca-Verdaulichkeit. Bei steigendem Proteingehalt in der Ration (9 %-20 %) kam es zu einem tendenziellen Rückgang der geschätzten wahren Verdaulichkeit von Ca (77 % - 52 %) (SCHRYVER et al., 1987). Der hohe Laktosegehalt in den Milchprodukten bei Versuchen von HINTZ et al. (1971) könnte ein Grund für die erhöhte Ca-Absorption sein, bei LINDEMANN et al. (1983) wurde jedoch keine Beeinflussung der scheinbaren praecaecalen Verdaulichkeit von Ca durch Laktose festgestellt. Wünschenswert wäre somit, dass es in Zukunft aufschlussreiche Studien zum Einfluss von Lysin und anderen Aminosäuren sowie Laktose und weiterer Saccharide auf die Ca-Absorption gäbe. Ein signifikanter Einfluss von unterschiedlichen Proteingaben auf die renale Ca-Exkretion wurde von SCHRYVER et al. (1987) nicht entdeckt, bei 6 Monate alten Fohlen hemmte ein steigender Proteinanteil in der

Ration die Ca-Ausscheidung, bei Jährlingen stieg der urinale Ca-Anteil bei zunehmendem Proteinanteil im Futter. Der Zusammenhang ist unklar und müsste weiter erforscht werden.

Im Alter nimmt die Leistungsfähigkeit des Organismus ab, damit ist auch eine Reduktion des Speicherumsatzes von Nährstoffen verbunden (MEYER u. COENEN, 2002). Daher ist ein möglicher Einfluss des Alters auf die Resorption von Ca wichtig für die Erstellung einer altersgerechten Ration. SCHRYVER (1975) stellte keinen Unterschied in der Absorption von Ca und P bei jungen und alten Pferden fest. RALSTON et al. (1989) sah auch keinen Einfluss auf die Ca-Absorption nach Fütterung von Alfalfapellets, jedoch kamen über 20 Jahre alte Pferde in eine negative P-Bilanz. Bei KICHURA (1983) nahm die Effizienz der P-Absorption mit dem Alter ab. LIEB u. BAKER (1975) und VAN DOORN (2004) ermittelten einen ausgeprägten, hemmenden Einfluss hoher Ca-Aufnahmen bei älteren Pferden. Es zeigt sich, dass sich die Ca-Verwertbarkeit im Alter wenig verändert, der P-Umsatz kann gehemmt sein und verdient somit mehr Beachtung. Das Alter des Pferdes zeigte in Versuchen von SCHRYVER et al. (1974a) und WHITLOCK et al. (1970b) bezüglich der renalen Exkretion von Ca einen stimulierenden Einfluss, Pferde im Alter von 17-24 Monaten schieden 50 % der absorbierten Ca-Menge renal aus, Fohlen bis 12 Monate nur 30-42 %. Genauere Untersuchungen über die Gründe gibt es nicht, ebenso keine vergleichenden Untersuchungen mit ausgewachsenen oder alten Pferden (ab 20 Jahre).

Eine höhere Ca-Absorption bei Raufutter im Vergleich zu Mischfutter wurde von einigen Autoren festgestellt. Lediglich die Absorptionsraten variieren bei Raufutter von 35-80 %, was auf die verschiedenen Nährstoffgehalte zurückzuführen ist, bei Mischfutter werden Absorptionsraten von 11-60 % angegeben. Nach STADERMANN et al. (1992) führt möglicherweise eine höhere Sekretion von Verdauungssäften bei Raufutter zu einem vermehrten passiven Calcium-Transport durch die Darmwand. Die renale Ca-Ausscheidung war im Vergleich zur Ca-Aufnahme in drei Versuchen bei Heu signifikant höher als bei reinen Kraftfuttermischungen (MEYER u. STADERMANN, 1990; SCHNURPEL, 1990; MEYER et al. 1990a). Der typische postprandiale Verlauf der Ca-Exkretion ist von MEYER et al. (1991) und SCHNURPEL (1991) sehr ähnlich beschrieben, mit maximaler renaler Ca-Ausscheidung nach Heufütterung 4 h postprandial, nach Kraftfuttergabe 7-8 h postprandial und nach gemischten Heu/Kraftfuttermischungen 6 h postprandial. Auch die Bewegung zeigte in verschiedenen Versuchen einen ähnlichen Effekt auf den postprandialen Verlauf der Ca-Ausscheidung, mit leicht abweichenden Kurvenverläufen nach der Bewegungsphase. Die Arbeitsphase hatte bei MEYER (1990a), MEYER et al. (1991) und SCHNURPEL (1991) bei Rau- und Kraftfuttergabe einen hemmenden Einfluss auf die renale Ca-Ausscheidung, nach Heufütterung und nach Verabreichung gemischter Heu/Kraftfuttermischungen war die Depression der Exkretion ausgeprägter als nach reiner Kraftfuttergabe. Der Rückgang der Ca-Exkretion bei Bewegung ist, erwiesen durch andere Versuche, nicht allein auf kutane Verluste zurückzuführen (SCHNURPEL, 1991; MEYER et al. 1990b), möglicherweise kommt es durch verminderte Nierendurchblutung zu einem Abfall der Ca-Ausscheidung in Bewegung

(MEYER et al., 1990a). Insgesamt betrachtet führen mehrere Untersuchungen zu nahezu übereinstimmenden und gut gesicherten Ergebnissen.

Der Einfluss der Bewegung auf die Calciumabsorption wurde von SCHRYVER et al. (1978) und NEHRING (1991) geprüft, die Effizienz der Ca- Absorption wurde bei SCHRYVER et al. (1978) durch die Bewegung nicht beeinflusst, NEHRING (1991) konnte eine Veränderung der Nettoresorption des Calciums aus Mischfutter von ca. 11 % in Ruhe und 14,1 bis 17,9 % bei täglicher Bewegung erkennen. Der Effekt konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden, somit bedarf es weiterer Versuche.

Beigaben anorganischer Ca-Quellen ergaben eine verbesserte scheinbare Ca-Verdaulichkeit von 70 %, wenn die Zusätze 25 % der Futtermischung ausmachten (SCHRYVER, 1975; HINTZ u. SCHRYVER, 1972a). Die Supplementierung einer Heu/Pellets Ration mit 10 g Bierhefe hatte einen signifikant erhöhenden Effekt auf die scheinbare Verdaulichkeit von Calcium (HILL u. GUTSELL, 1998). HINTZ u. SCHRYVER (1976) konnten keinen Einfluss auf die geschätzte wahre Verdaulichkeit von Calcium bei Zugabe von 0,4 %, 0,9 % oder 3,4 % Kalium zur Basalration erkennen und bei Versuchen zum Einfluss der Außentemperatur erhöhte eine niedrige Außentemperatur (-7,9 °C) die wahre Verdaulichkeit von Calcium tendenziell (CYMBALUK u. CHRISTISON, 1990).

Über all diese Faktoren, welche die Ca-Absorption beeinflussen können, liegen nur wenige Daten vor, somit wären weitere Untersuchungen zur Absicherung der Ergebnisse notwendig.

IV. Zusammenfassung

Charlotte Faber: Literaturübersicht zur Calciumabsorption und renalen Ausscheidung beim Pferd

Die vorliegende Arbeit stellt anhand wissenschaftlich zugänglicher Literatur Untersuchungsergebnisse zur Absorption von Calcium und mögliche, variierende Effekte dar und beleuchtet Resultate aus Versuchen zur renalen Ca-Ausscheidung um das Ausmaß der bereits vorliegenden Erkenntnisse darzustellen und möglichen Forschungsbedarf offen zu legen. Der Dünndarm ist der bedeutendste Ort für die Absorption von Calcium beim Pferd, die geschätzte praecaecale Nettoabsorption liegt bei 50-80 %, postileal wird 1-10 % resorbiert. Der aktive Ca-Transport durch die intestinale Mukosa wurde nachgewiesen, die passive Diffusion ist beim Pferd weitgehend unerforscht. Der Einfluss von Vitamin D auf die Ca-Absorption und den Ca-Transport sowie die renale Exkretion ist ungeklärt, die Ergebnisse sind widersprüchlich. Bei zunehmender Ca-Aufnahme erhöht sich die Absorptionsmenge aus dem Dünndarm, die Effizienz (Ca-Abs./Ca-Aufn.*100) der Absorption geht zurück. Sie ist mit 70 % bei einer Ca-Aufnahme unter 10 g/100 kg KM/Tag am höchsten. Die renale Exkretion nimmt mit zunehmender Absorption zu. Zusammenhänge zwischen der Höhe der Aufnahme von Ca und P, dem Anteil an anorganischem Phosphor oder Phytat und der Absorption von Ca erfordern weitere Studien, eine P-Übersorgung hemmt die Ca-Absorption nachweislich. Oxalate erschweren die Ca-Verwertung ab einem Ca:Oxalat-Verhältnis unter 1. Das Ca:P-Verhältnis kann einen Einfluss auf die Verdaulichkeit beider Mineralien haben, eine optimale Verfügbarkeit von Ca und P liegt bei einem Verhältnis von 1:1 bis 2:1 vor. Zum Effekt des Ca:P-Verhältnisses auf die renale Exkretion der Mineralien gibt es keine direkten Studien, die renale Ausscheidung von Ca und P nimmt durch erhöhte Zugabe des anderen Minerals ab.

Untersuchungen zu Interaktionen zwischen Fetten und Calcium lieferten widersprüchliche Ergebnisse ohne eindeutige Tendenzen. Ein Anionenüberschuss im Futter führt übereinstimmend zu vermehrter renaler Ca-Ausscheidung. Der Einfluss von Magnesium auf die Ca-Absorption ist aus den Versuchen nicht klar ersichtlich, es gibt keinen Einfluss auf die renale Ca-Ausscheidung. Zusammenhänge zwischen renaler Ca-Ausscheidung, Ca-Absorption und der Aufnahme von Aminosäuren und Disacchariden wurden nicht gesichert dargestellt. Die Ca-Verwertbarkeit ist beim Pferd im Alter wenig verändert, der P-Umsatz kann gehemmt sein. Bei Raufutterfütterung kommt es beim Pferd zu höherer Ca-Absorption und renaler Ca-Exkretion als bei Kraftfutterfütterung. Der postprandiale Verlauf der Ca-Ausscheidung über die Niere ist je nach Futtermittel charakteristisch, durch Bewegung wird die renale Ausscheidung von Ca gehemmt.

Schlüsselwörter: Calcium, renale Exkretion, Ca:P-Verhältnis, Resorption, Pferd

V. Summary

Charlotte Faber: Review to calcium absorption and renal excretion in horses

The present study compares and evaluates scientific research results about calcium (Ca) absorption and renal Ca excretion in horses to point out areas requiring further research.

The small intestine is the main site of Ca absorption in horses, the estimated praecaecal net-absorption ranges from 50 to 80 %; 1-10 % is absorbed from the large intestine. The active transport through the intestinal mucosa has been documented whereas the passive diffusion is widely unexplored. The effect of vitamin D on Ca absorption, Ca transport and urinary excretion is still discussed controversial. The amount of Ca absorption from the small intestine is increasing when Ca intake is rising, the efficiency of absorption decreases. The highest efficiency of 70 % occurred at an intake lower than 10 g/100 kg KM/day. The renal excretion augmented when intake rises. More research is needed to find out relations between the level of Ca and phosphorus (P) intake, with special attention to inorganic phosphorus and phytat, and the absorption of Ca from the digestive tract. An oversupply of P has been shown to be the reason for a decreasing Ca absorption in several studies. Ca absorption is repressed at a calcium:oxalate ratio lower than 1.

The Ca:P ratio can affect the digestibility of Ca and P; an ideal availability occurs at a ratio between 1:1 und 2:1. There are no studies dealing directly with the effect of the Ca:P ratio on urinary Ca excretion, the renal excretion of Ca decreases with increasing addition of P. Research due to interactions between fat and calcium yielded contradictory results without clear tendencies. An excess of anions in the diet led consistently to increasing urinary Ca excretion. The influence of magnesium on calcium absorption is not obvious in the studies; there is no influence on renal Ca excretion. The results of investigations analyzed in this study didn't display the influence of amino acids and disaccharides on Ca absorption and renal Ca excretion. Studies showed that aged horses utilize Ca as good as young horses but there can be a lower P turnover in age. Horses absorbed and excreted more Ca out of roughage diets compared to concentrate diets. The characteristic Ca excretion curve after feeding was displayed congruently in some articles. In working periods the renal Ca excretion was inhibited according to several studies.

Keywords: calcium, absorption, renal excretion, Ca: P ratio, horse

VI. LITERATURVERZEICHNIS

ALEXANDER, F. (1962): The Concentration of certain electrolytes in the digestive tract of the horse and pig.
Res. vet. Sci. **3**, 78-84.

ARGENZIO, R.A., LOWE, J.E., HINTZ, H.F., SCHRYVER, H.F. (1974): Calcium and phosphorus homeostasis in horses.
J. Nutr. **104**, 18-27.

BAKER, L.A., TOPLIFF, D.R., FREEMAN, D.W., TEETER, R.G., BREAZILE, J.E. (1993): Effect of dietary cation-anion balance on urinary mineral excretion in horses.
Proc. Eq. Nutr. Physiol. Soc. **13**, 44-49.

BICKHARDT, K., DEEGEN, E., ESPELAGE, W. (1996):
Nierenfunktionsuntersuchungen bei Pferden – Methodik und Referenzwerte bei gesunden Tieren.
Dtsch. tierärztl. Wschr. **103**, 117-122.

BLANEY, B.J., GARTNER, R.J.W., MCKENZIE, R.A. (1981a): The effects of oxalate in tropical grasses on the availability to horses of calcium, phosphorus and magnesium.
J. Agric. Sci. Camb. **97**, 507-514.

BLANEY, B.J., GARTNER, R.J.W., MCKENZIE, R.A. (1981b): The inability of horses to absorb calcium from calcium oxalate.
J. Agric. Sci. Camb. **97**, 639-641.

BOEHNCKE, E., SCHNEIDER, W. (1978): Zur Regulation des Calcium- und Phosphatstoffwechsels bei Wiederkäuer und Pferd.
Übers. Tierernährg. **6**, 199-220

BOWMAN, V.A., FONTENOT, J.P., WEBB K.E., MEACHAM, T.N. (1977): Digestion of fat by equine.
Proc. **5th** Equ. Physiol. Nutr. Symp., 40.

BREIDENBACH, A., SCHLUMBOHM, C., HARMMEYER, J. (1998): Peculiarities of Vitamin D and of the calcium and phosphate homeostatic system in horses.
Vet. Res. **29**, 173-186.

CAPLE, I.W., DAOKE, P.A., ELLIS, P.G. (1982): Assessment of the calcium and phosphorus nutrition in horses by analysis of urine.
Aust. Vet. J. **58**, 125-131.

- COENEN, M. (1986): Beiträge zur Verdauungsphysiologie des Pferdes.
13.Mitteilung: Verdaulichkeit und praecaecale Passage einer suspendierfähigen Diät
in Abhängigkeit von der Applikationsform (spontane Futteraufnahme bzw. flüssig per
Sonde).
J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. **56**, 104-117.
- COOPER, S.R., KLINE, K.H., FOREMAN, J.H., BRADY, H.A., SHIPLEY, C.F.,
FREY, L.P., SENNELLO, K.A. (1995): Effects of dietary cation-anion balance on
blood ph, acid- base parameters, serum and urine mineral levels and parathyroid
hormone (PTH) in weanling horses.
J. Equine Vet. Sci. **15** (10), 417-420.
- CUDDEFORD, D., WOODHEAD, A., MUIRHEAD, R. (1990). Potential of alfalfa as a
source of calcium for calcium deficient horses.
Vet. Rec. **126**, 425-429.
- CYMBALUK, N.F., MILLAR, J.D., CHRISTENSEN, D.A. (1986): Oxalate
concentration in feeds and it`s metabolism by ponies.
Can. J. Anim. Sci. **66**, 1107-1116.
- CYMBALUK, N.F., CHRISTISON, G.I. (1990): Environmental Effects on Thermoregulation
and Nutrition of Horses.
Vet. Clin. N. Am. Equine Pract., Vol. **6**, No. 2, 355-371.
- EAAP publication No. 114 (2005)
Dijon, France
- ELLIS, A.D., HILL, J. (2005): Nutritional physiology of the horse.
Nottingham University Press, Nottingham.
- FLOTHOW, C. (1994): Einfluss von Kokosfett und Sojaöl auf praecaele
Verdauungsvorgänge beim Pferd.
Vet. Med. Diss. Hannover
- FRANK, N.B., MEACHAN, T.N., EASLEY K.J., FONTENOT J.P. (1983): The effect of
bypassing the small intestine on nutrient digestibility and absorption in the pony.
Proc. **8th** Equ. Nutr. Physiol. Symp. Kentucky, 243-248.
- FRAPE, D. (2004): Equine nutrition and feeding.
Blackwell Publishing Ltd., Oxford
- FULLMER, C., WASSERMANN, R.H. (1975): Isolation and partial characterization of
intestinal calcium-binding proteins from cow, pig, horse, guinea-pig and chick.
Biochim. biophys. Acta. **393** (1), 134-142.

GARTNER, R.J.W., BLANEY, B.J., MCKENZIE, R.A. (1981): Supplements to correct oxalate-induced negative calcium and phosphorus balance in horses fed tropical grass hays. *J. agr. Sci. Camb.* **97**, 581-589.

GEH, Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere (1994): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 2: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Pferde. DLG Verlag, Frankfurt.

GLADE, M.J., KROOK, L., SCHRYVER, H.F., HINTZ, H.F. (1982): Calcium metabolism in glucocorticoid treated pony foals. *J. Nutr.* **112** (1), 77-86.

HARMEYER, J., TWEHUES, R., SCHLUMBOHM, C., STADERMANN, B., MEYER, H. (1992): Die Rolle von Vitamin D für den Calciumstoffwechsel bei Pferden. *Pferdeheilkunde, Sonderausgabe Ernährung I*, 81-85.

HILL, J., GUTSELL, S. (1998): Effect of supplementation of a hay and concentrate diet with live yeast culture on the digestibility of nutrients in horses. *Proc. British Soci. Anim. Sci., Scarborough*, 128.

HINTZ, H.F. (1975): Digestive physiology of horses. *J. S. Afr. Vet. Med. Assoc.* **46**, 13-16.

HINTZ, H.F., SCHRYVER H.F., LOWE, J.E. (1971): Comparison of a blend of milk products and linseed meal as protein supplements for young growing horses. *J. Anim. Sci.* **33**, 1274-1277.

HINTZ, H.F., SCHRYVER, H.F. (1972a): Availability to ponies of calcium and phosphorus from various supplements. *J. Anim. Sci.* **34**, 979-980.

HINTZ, H.F., SCHRYVER, H.F. (1972b): Magnesium metabolism in the horse. *J. Anim. Sci.* **35**, 755.

HINTZ, H.F., SCHRYVER, H.F. (1973): Magnesium, calcium and phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of magnesium. *J. An. Sci.* **37**, 927-930.

HINTZ, H.F., SCHRYVER, H.F., LOWE J.E., KING, J., KROCK, L. (1973a): Effect of Vitamin D on Ca and P metabolism in ponies. *J. Anim. Sci.* **37**, 282.

HINTZ, H.F., WILLIAMS, A.J., ROGOFF, J., SCHRYVER, H.F. (1973b): Availability of phosphorus in wheat bran when fed to ponies. *J. Anim. Sci.* **36**, 522-525.

HINTZ, H.F., SCHRYVER, H.F. (1976): Potassium metabolism in ponies.
J. Anim. Sci. **42**, 637-642.

HINTZ, H. F., SCHRYVER, H. F., DOTY, J., LAKIN, C., ZIMMERMANN, R. A. (1984):
Oxalic Acid Content of Alfalfa Hays and Its Influence on the availability of Calcium,
Phosphorus and Magnesium to Ponies.
J. Anim. Sci. **58**, 939-942.

KICHURA, T.S., HINTZ, H.F., SCHRYVER, H.F. (1983): Factors influencing endogenous
P-losses in ponies.
Proc. **8th** Equ. Nutr. Physiol. Soc. Symp., 2-6.

KIRCHGESSNER, U. (2008): Tierernährung.
Aufl. 12, DLG-Verlag, Frankfurt.

LEWIS, L.D. (1995): Equine clinical Nutrition, Feeding and Care.
Williams and Wilkins, PA

LIEB, S., BAKER, J.P. (1975): Effect of high calcium intake on phosphorus metabolism.
Proc. **4th** Equ. Nutr. Physiol. Soc. Symp., 60.

LINDEMANN, G., SCHMIDT, M., MEYER, H. (1983): Beiträge zur Verdauungsphysiologie
des Pferdes 8. Mittlg: Untersuchungen über die praecaecale Verdaulichkeit von Stärken und
Laktose sowie ihren Einfluß auf den caecalen Stoffwechsel.
Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelk. **50**, 157-169.

McKENZIE, R. A., BLANEY, B. J., GARTNER, R. J. W. (1981a): The effect of dietary
oxalate on calcium, phosphorus and magnesium balances in horses.
J. Agric. Sci. **97**, 69-74.

MEYER, H., AHLWEDE, L. (1977): Untersuchungen zum Mg-Stoffwechsel des
Pferdes.
Zbl. Vet. Med. A **24**, 128-139.

MEYER, H., PFERDEKAMP, M., HUSKAMP, B. (1979): Untersuchungen über die
Verdaulichkeit und Verträglichkeit verschiedener Futtermittel bei thyphlektomierten Ponies.
Dtsch. tierärzt. Wschr. **86**, 384-390.

MEYER, H., SCHMIDT, M., LINDEMANN, G., MUUSS, H. (1982): Praecaecale und
postileale Verdaulichkeit von Mengen- (Ca, P, Mg) und Spurenelementen (Cu, Zn, Mn) beim
Pferd.
Z. Tierphysiol. Tierernähr. und Futtermittelkde. **13**, 61-69.

- MEYER, H., STADERMANN, B. (1990): Möglichkeiten zur Bestimmung der Mineralstoffversorgung des Pferdes durch Harnanalysen. In: MEYER, H. (Hrsg.): Beiträge zum Wasser - und Mineralstoffhaushalt des Pferdes. Fortschr. Tierphysiol. Tierer., Beih. **21**, Parey Verlag, Hamburg, 86-97.
- MEYER, H., HEILEMANN, M., NORIGEA, H. P., GOMEDA, Y. (1990a): Postprandial renale Ausscheidung von Calcium, Magnesium und Phosphor bei ruhenden und arbeitenden Pferden. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., Beih. **21**, 78-85.
- MEYER, H., HEILEMANN, M., HIPPE, A., PEREZ NORIEGA, H., GOMEDA, Y. (1990b): Schweißmenge und Schweißzusammensetzung beim Pferd. Fortsch. Tierphys. Tierern., Beiheft **21**, Paul Parey, Hamburg, 21-34.
- MEYER, H., STADERMANN, B., SCHNURPEL, B., NEHRING, T. (1991): The influence of type of diet (roughage or concentrate) on the plasma level, renal excretion and apparent digestibility of calcium and magnesium in resting and exercising horses. Proc. **12th** Equ. Nutri. Physiol. Soc., 83-84.
- MEYER, H., COENEN, M. (2002): Pferdefütterung. Parey Buchverlag, Berlin.
- MOFFETT, A.D., COOPER, S.R., FREEMAN, D.W., PURVIS, H.T. (2001): Response of yearling quarter horses to varying concentrations of dietary calcium. Proc. Eq. Nutr. Physiol. Soc. **17**, 62-68.
- MORRIS, D.D., DIVERS, T.J., WHITLOCK, R.H. (1984): Renal clearance and fractional excretion of electrolytes over 24 hour period in horses. Am. J. vet. Res. **45** (11), 2431-2435.
- MORRIS-STOKER, L.B., BAKER, L.A., PIPKIN, J.L., BACHMAN, R.C., HALIBURTON, J.C. (2001): The effect of supplemental phytase on nutrient digestibility in mature horses. Proc. Eq. Physiol. Soc. **17**, 48-52.
- MÖHLENBRUCH, G., BOTTERMANN, H., SCHWITTE, W. (1999): Beruf Pferdewirt. 2.Aufl., Ulmer, Stuttgart.
- MEYER, H., COENEN, M. (2002): Pferdefütterung. 4.Aufl., Parey, Berlin.
- NEHRING, T. (1991): Einfluß der Futterart auf die Nettoabsorption von Calcium, sowie Magnesium und Phosphor beim Pferd. Vet. med. Diss., TiHo Hannover.

NIELSEN, B.D., POTTER, G.D., GREENE, L.W., MORRIS, E.L., MURRAY-GERZIK, M., SMITH, W.B., MARTIN, M.T. (1998): Response of young horses in training to varying concentrations of dietary calcium and phosphorus. *J. Equine Vet. Sci.* **18** (6), 397-404.

OTT, E.A., FEALTER, J.P., PANCO, J.P. (1975): Effect of calcium and phosphorus levels on availability of trace minerals. *Proc. 4th Equ. Nutr. Physiol. Symp.*, 61-64.

RALSTON, S.L., SQUIRES, E.L., NOCKELS, C.F. (1989): Digestion in the aged horse. *J. Equ. vet. Sci.* **9** (4), 203-205.

RICH, G.A., FONTENOT, J.P., MEACHAN, T.N. (1981): Digestibility of animal, vegetable and blended fat by equine. *Proc. 7th Equ. Physiol. Nutr. Symp.*, 30-34.

SCHRYVER, H.F. (1975): Intestinal absorption of calcium and phosphorus by horses. *J. S. Afr. Vet. Ass.* **46** (1), 39-42.

SCHRYVER, H.F., CRAIG, P.H., HINTZ, H.F. (1970a): Calcium metabolism in ponies fed varying levels of calcium. *J. Nutr.* **100**, 955-964.

SCHRYVER, H.F., CRAIG, P.H., HINTZ, H.F., HOGUE, D.E., LOEWE, J. E. (1970b): The site of calcium absorption in the horse. *J. Nutr.* **100** (10), 1127-1131.

SCHRYVER, H.F., CRAIG, P.H., HINTZ, H.F. (1971a): Phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of phosphorus. *J. Nutr.* **101**, 1257-1264.

SCHRYVER, H.F., HINTZ, H.F., CRAIG, P.H. (1971b): Calcium metabolism in ponies fed a high phosphorus diet. *J. Nutr.* **101**, 259-264.

SCHRYVER, H.F., HINTZ, H.F., LOWE, J.E. (1971c): Calcium and phosphorus inter-relationship in horse nutrition. *Equ. Vet. J.* **3** (3), 102-109.

SCHRYVER, H.F., HINTZ, H.F., CRAIF, P.H., HOGUE, D.E., LOWE, J.E. (1972): The site of phosphorus absorption from the intestine of the horse. *J. Nutr.* **102**, 143-148.

SCHRYVER, H.F., HINTZ, H.F., LOWE, J.E. (1974a): Calcium and Phosphorus in the Nutrition of the Horse. *Cornell Vet.* **64**, 493-515.

SCHRYVER, H.F., HINTZ, H.F., LOWE, J.E., HINTZ, R.L., HARPER, R.B., REID J.T. (1974b): Mineral composition of the whole body, liver and bone of young horses. *J. Nutr.* **104**, 126-132.

SCHRYVER, H.F., HINTZ, H.F., LOWE, J.E. (1978): Calcium metabolism, body composition and sweat losses of exercised horses. *Am. J. vet. Res.* **39**, 245-248.

SCHRYVER, H.F., MEAKIM, D.W., LOWE, J.E., WILLIAMS, J., SODERHOLM, L.V., HINTZ, H.F. (1987): Growth and calcium metabolism in horses fed varying levels of protein. *Equ. Vet. J.* **19** (4), 280-287.

SCHNURPEL, B. (1991): Einfluß von Futterart und Höhe der Ca- Aufnahme auf Ca- Blutspiegel und renale Ca- Exkretion beim Pferd. *Vet. med. Diss., TiHo Hannover.*

SMILEY, L.K., GREENE, L.W., POTTER, G.D., ARNOLD, F.F. (1985): Digestibility of calcium in alfalfa hay in the equine small intestine. *Proc. Eq. Nutr. Physiol. Soc.* **9**, 124-128.

STADERMANN, B., NEHRING, T., MEYER, H. (1992): Calcium- und Magnesium-Absorption bei Raufutter oder Mischfutter. *Pferdeheilkunde, Sonderausgabe Ernährung I*, 77-80.

STANIK, K. (2006): Tierartlich vergleichende Literatur und experimentelle Arbeiten zu Effekten unterschiedlicher Calcium-Aufnahmen auf die Calcium-Homöostase beim arbeitenden Pferd. *Inaugural Diss., TiHo Hannover.*

SWARTZMAN, J.A., HINTZ, H.F., SCHRYVER, H.F. (1978): Inhibition of calcium absorption in ponies fed diets containing oxalic acid. *Am. J. Vet. Res.* **39**, 1621-1623.

TEETER, S., STILLIONS, M., NELSON, W.E. (1967): Maintenance levels of calcium and phosphorus in horses. *J. Amer. Vet. Med. Ass.* **151**, 1625.

TELEB, H. (1984): Untersuchungen über den intestinalen Ca-Stoffwechsel beim Pferd nach variierender Ca-Zufuhr und einer Oxalatzulage. *Inaugural Diss. TiHo Hannover.*

TENNANT, B., LOWE, J.E., TASKER, J.B. (1974): Hypercalcemia and hyperphosphatemia following bilateral nephrectomy in the horse. *Fed. Proc.* **33**, 670.

TOPLIFF, D.R., KENNERLY, M.A., FREEMAN, D.W., TEETER, R.G., WAGNER, D.G. (1989): Changes in urinary and serum calcium and chloride concentrations in exercising horses fed varying cation-anion balances.
Proc. Eq. Nutr. Physiol. Soc. **11**, 1-2.

VAN DOORN, D.A., VAN DER SPEK, M.E., EVERTS, H., WOUTERSE, H., BEYNEN, A.C. (2004): The influence calcium intake on phosphorus digestibility in mature ponies.
J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. **88** (11/12), 412-418.

VON ENGELHARDT, W., BREVES, G. (2005): Physiologie der Haustiere.
2. Aufl., Enke, Stuttgart.

WALL, D.L., TOPLIFF, D.R., FREEMAN, D.W., WAGNER, D.G., BREAZILE, J.W., STUTZ, W.A. (1992): Effect of dietary cation- anion balance on urinary mineral excretion in exercised horses.
J. Equine Vet. Sci. **12** (3), 168-171.

WASSERMAN, R.H. (1968): Calcium transport by the intestine: A Model and Comment on Vitamin D action.
Calc. Tis. Res. **2**, 301-313.

WASSERMANN, R.H., TAYLER, A.N. (1969): Some aspects of the intestinal absorption of calcium with special reference to Vitamin D. In: COMAR, C.L., BRONNER, F.: Mineral metabolism - An Advanced Treatise.
Vol. 3, Chapter 5, Academic Press, NY, 321-403.

WEISWEILER, B., TWEHUES, R., KUCZKA, A., MEYER, H., HARMMEYER, J. (1993): Einfluss hoher Vitamin-D-Dosierungen auf Calcium-, Magnesium und Phosphorstoffwechsel von Pferden - Klinische und pathomorphologische Befunde.
Pferdeheilkd. **9** (6), 343-352.

WHITLOCK, R., SCHRYVER, H.F., KROOK, L., HINTZ, H.F., CRAIG, P. (1970a): Calcium metabolism in horses with a varied calcium intake.
Federation Proc. **29**, 565 (abstr.).

WHITLOCK, R., SCHRYVER, H.F., KROOK, L., HINTZ, H.F., CRAIG, P. (1970b): The effects of high dietary calcium in horses.
Proc. **16th** Annu. Conf. amer. Ass. Equ. Practitioners, 127.

VII. TABELLENANHANG

Tab. I Überblick der ausgewerteten Literaturdaten

Ca- Aufn.*	P- Aufn.*	Futter- mittel	Ca- Nettoab.**	Ca- Nettoab. %	Kot*	Harn*	Autor
24,7	39,3	RF+MF	-6,6	-26,7	31,3	8,2	TELEB (1984)
29,0	67,4	RF+MF	-2,0	-6,9	31,0	5,5	SCHRYVER et al. (1970a)
29,0	8,4	RF	-1,5	-5,2	30,5		MEYER et al. (1982)
42,9	28,2	RF+MF	9,2	21,4	33,7	6,8	HITNZ und SCHRYVER (1972a)
43,8		RF+MF	17,0	38,8	26,8		SMILEY et al. (1985)
54,4	73,5	RF+MF	18,6	34,2	35,8	9,4	HITNZ und SCHRYVER (1972a)
55,2		RF+MF	23,9	43,3	31,3		SMILEY et al. (1985)
57,5	44,1	RF+MR	21	36,5	36,5	11,2	HITNZ und SCHRYVER (1972a)
61,2	41,6	RF+MF	10,3	16,8	50,9	19,9	TELEB (1984)
63,0	45,3	RF+MF	30,0	47,6	33,0	23,0	WHITLOCK et al. (1970b)
64,0	43,2	RF+MF	22,5	35,2	41,5	9,8	HITNZ und SCHRYVER (1972a)
66,8	60,8	MF	25,5	38,2	41,3	9,5	SWARTZMAN et al. (1978)
67,0	48,3	RF	32,1	47,9	34,9		MEYER et al. (1982)
73,0		RF+MF	29,2	40,0	43,8		SMILEY et al. (1985)
73,4	220,2	RF+MF	4,7	6,4	68,7	4	SCHRYVER et al. (1971b)
82,3		RF+MF	24,6	29,9	57,7		SMILEY et al. (1985)
83,2	249,6	RF+MF	10,1	12,1	73,1	1,4	SCHRYVER et al. (1971b)
83,6	41,6	RF+MF	38,1	45,6	45,5	21,1	SCHRYVER et al. (1971b)
84,2	252	RF+MF	9,1	10,8	75,1	3,6	SCHRYVER et al. (1971b)
86,0	74,1	RF+MF	43,0	50,0	43,0	20,0	WHITLOCK et al. (1970b)
88,5	264	RF+MF	12,6	14,2	75,9	2,1	SCHRYVER et al. (1971b)
91,8	275,4	RF+MF	9,1	9,9	82,7	6,8	SCHRYVER et al. (1971b)
94,3	73,9	MF	37,6	39,9	56,7	14,7	SWARTZMAN et al. (1978)
98,8	44,25	RF+MF	41,9	42,4	56,9	18,2	SCHRYVER et al. (1971b)
103,4	42	RF+MF	47,8	46,2	55,6	26,7	SCHRYVER et al. (1971b)
111,5	45,9	RF+MF	52,9	47,4	58,6	32,2	SCHRYVER et al. (1971b)
124,3	64,2	RF+MF	29,8	24,0	94,5		KAPUSNIAK und POTTER (1988)
130,0	69,9	RF+MF	45,0	34,6	85,0	21,0	SCHRYVER et al. (1970a)
147,9	128,8	RF+MF	63,1	42,7	84,8	49,6	VAN DOORN et al. (2004)
159,0	67,0	RF+MF	53,5	33,6	105,5		MEYER et al. (1982)
192,0	69,0	MF	81,6	42,5	110,4		MEYER et al. (1982)
199,8	36,7	RF+MF	138,5	69,3	61,3	35,2	SCHRYVER et al. (1971b)
242,0	56,4	RF+MF	89,0	36,8	153,0	33,0	SCHRYVER et al. (1970a)
266,0	41,6	RF+MF	58,0	21,8	208,0	47,4	TELEB (1984)

286,0	69,4	RF+MF	102,0	35,7	184,0	66,0	WHITLOCK et al. (1970b)
315,6	122,3	RF+MF	89,2	28,3	226,4	62,2	VAN DOORN et al. (2004)
408,0	99,0	RF+MF	206,0	50,5	202,0	95,0	WHITLOCK et al. (1970b)
535,2	125,2	RF+MF	150,3	28,1	384,9	84,6	VAN DOORN et al. (2004)

RF = Raufutter

MF = Mischfutter

* mg/kg KM/Tag

** Ca-Aufnahme (mg/kg KM/Tag) - Ca-Kotabgabe (mg/kg KM/Tag)

Tab. II Renale Ca-Exkretion bei Luzerneheu (LUZ)- bzw. Mischfutterfütterung (MF) in Ruhe und Bewegung (Bew) (g/100 kg KM/Tag) (SCHNURPEL, 1991)

Std.p.pr.	Ruhe/LUZ	Bew/LUZ	Ruhe/MF	Bew/MF
1	0,262	0,296	0,029	0,019
2	0,624	0,714	0,104	0,121
3	0,813	0,722	0,18	0,223
4	0,924	0,801	0,274	0,292
5	0,923	0,479	0,301	0,166
6	0,697	0,496	0,359	0,182
7	0,725	0,565	0,443	0,234
8	0,679	0,642	0,484	0,338
9	0,544	0,542	0,322	0,233
10	0,540	0,697	0,151	0,162
11	0,441	0,510	0,125	0,183
12	0,375	0,591	0,091	0,067