

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik
Prof. Dr. E. Kienzle

Untersuchungen zum Einfluss der Anionen-Kationen-Bilanz auf den Mineralstoff- und Säure-Basen-Haushalt bei Ponys

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwigs-Maximilians-Universität München

von
Lisa Berchtold
aus **Weilheim**

München 2009

Gefördert von der H. Wilhelm Schaumann Stiftung

Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichtersteller: Univ.-Prof. Dr. Kienzle
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Gehlen

Tag der Promotion: 6. Februar 2009

Meinen Eltern
für ihre Liebe und Unterstützung

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	2
2.1 Pilotstudie STÜRMER (2005).....	3
2.2 Einflussfaktoren der Fütterung auf den Säure-Basen-Haushalt beim Pferd	5
2.2.1 Effekte der AKB.....	8
2.2.2 Effekte des Raufutter-/Kraftfuttermittelverhältnis	9
3. Tiere, Material und Methoden	13
3.1 Versuchsziel	13
3.2 Versuchstiere	13
3.2.1 Versuchstierdaten	13
3.2.2 Versuchstierhaltung	14
3.3 Versuchsplan.....	15
3.4 Versuchsrationen.....	15
3.5 Versuchstechnik	19
3.5.1 Anfütterungsphase	19
3.5.2 Bilanzphase.....	20
3.5.3 „Washout-Phase“	20
3.6 Probenvorbereitung.....	21
3.7 Prüfparameter	22
3.8 Angewandte Untersuchungsmethoden.....	22
3.8.1 Futteranalyse	22
3.8.2 Blutgasanalyse.....	22
3.8.4 Analyse der Urinproben	25
3.9 Berechnungen.....	26
3.9.1 Berechnung der scheinbaren Verdaulichkeit.....	26
3.9.2 Berechnung der wahren Verdaulichkeit	26
3.9.3 Berechnung des Harnvolumens	27
3.10 Statistische Methoden	27
4. Ergebnisse	28

4.1 Klinische Beobachtungen	28
4.2 Kot-pH-Werte	28
4.3 Futteraufnahme und -akzeptanz.....	29
4.4 Harnvolumen	29
4.5 Harn-pH-Werte	31
4.5.1 Harn-pH-Werte während der Heuversuche.....	31
4.5.2 Harn-pH-Werte während der Haferversuche.....	32
4.5.3 Harn-pH-Werte in Abhängigkeit von der AKB in der Ration	33
4.6 Blutgasanalysen	35
4.6.1 Blut-pH-Wert	35
4.6.2 Aktuelle Bikarbonatkonzentration.....	36
4.6.3 Basenexzess.....	36
4.6.4 Calcium.....	36
4.6.5 Kohlenstoffdioxid-Partialdruck und Natrium	36
4.7 Verdauungs- und Bilanzversuche.....	36
4.7.1 Trockensubstanzausscheidung und Mineralstoffgehalt des Kots..	36
4.7.2 Scheinbare Verdaulichkeiten	36
4.7.3 Mineralstoffgehalt des Urins.....	36
4.7.4 Mineralstoffbilanzen	36
5. Diskussion	36
5.1 Kritik der Methoden	36
5.1.1 Rationsgestaltung	36
5.1.2 Berechnung der AKB	36
5.1.3 Harngewinnung	36
5.1.4 Kotgewinnung	36
5.2 Diskussion der Ergebnisse	36
5.2.1 Mineralstoffhaushalt.....	36
5.2.2 Harnansäuerung	36
5.2.3 Blutgasanalyse.....	36
5.3 Schlussfolgerungen.....	36
6. Zusammenfassung.....	36
7. Summary	36
Literaturverzeichnis.....	36
Danksagung	36
Lebenslauf.....	36

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Versuche, Mineralzusätze, Heu-/Haferverhältnis, AKB (mmol/kgTS) und mittlerer Harn-pH-Wert über die drei Bilanztage in der Arbeit von STÜRMER (2005)	4
Tab. 2: Raufutter-/Kraffutterverhältnis, Ca/P-Verhältnis, AKB [mmol/kg TS], neu berechnete AKB [mmol/kg TS], säuernde Zusätze, mittlere Harn-pH-Werte und Blut-pH-Werte in der Literatur (soweit Angaben vorhanden).....	6
Tab. 3: Elektrolytgehalte der Verdauungssekrete nach MEYER und COENEN (2002)	11
Tab. 4: Versuchstierdaten.....	13
Tab. 5: Fütterungsversuche.....	16
Tab. 6: Heu-/Haferverhältnis der Versuchsrationen.....	16
Tab. 7: Mineralstoffgehalt der verwendeten Futtermittel in g/kg TS	17
Tab. 8: Verwendete Mineralzusätze.....	17
Tab. 9: Mineralstoffgehalt der Rationen in g/kg TS.....	17
Tab. 10: AKB und Ca/P-Verhältnis der Rationen.....	18
Tab. 11: Mittlere Kot-pH-Werte aller Ponys, Anzahl der Messungen pro Versuch (n), minimale und maximale Werte.....	28
Tab. 12: Tägliche TS-Aufnahme der Versuchstiere	29
Tab. 13: Harnmenge [l] berechnet anhand der Kreatininkonzentration im Harn im Vergleich mit dem tatsächlichen Harnvolumen der einzelnen Ponys in drei Tagen.....	30
Tab. 14: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Heu I	31
Tab. 15: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Heu II	31
Tab. 16: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Heu III	32
Tab. 17: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Hafer I	32
Tab. 18: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Hafer II	33
Tab. 19: Mittlere Harn-pH-Werte in den einzelnen Versuchen während der Bilanz	33
Tab. 20: Mittlere Blut-pH-Werte präprandial und 2 h postprandial	35
Tab. 21: Mittlere Bikarbonatkonzentration [mmol/l] im Blut vor und 2 h nach der Fütterung.....	36
Tab. 22: BE [mmol/l] im Blut vor und 2 h nach der Fütterung.....	36
Tab. 23: BE in der interstitiellen Flüssigkeit [mmol/l] vor und 2 h nach der Fütterung.....	36
Tab. 24: Mittlerer Calciumgehalt [mmol/l] im arteriellen Blut vor und 2 h nach der Fütterung....	36
Tab. 25: Kohlenstoffdioxid-Partialdruck [mmHg] und Natrium [mmol/l] vor und 2 h nach der Fütterung im arteriellen Blut	36
Tab. 26: Mittlere TS-Ausscheidung mit dem Kot und Mineralstoffgehalt des Kots.....	36
Tab. 27: Scheinbare Verdaulichkeiten [%] der Mineralstoffe und der Trockensubstanz	36
Tab. 28: Urinausscheidung und Mineralstoffgehalte des Urins	36
Tab. 29: Mittlere Ca-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]	36
Tab. 30: Mittlere P-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]	36
Tab. 31: Mittlere Mg-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]	36
Tab. 32: Mittlere Na-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]	36
Tab. 33: Mittlere K-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]	36
Tab. 34: Mittlere Cl-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]	36
Tab. 35: Wahre Verdaulichkeiten (wV) der Mineralstoffe.....	36
Tab. 36: Heu-/Haferverhältnis, AKB (mmol/kg TS) und mittlere Harn-pH-Werte	36
Tab. 37: Hay/oats ratio, CAB (mmol/kg DM) and mean urinary pH.....	36

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beziehung zwischen dem Harn-pH-Wert und der AKB der Ration in der Studie von STÜRMER (2005).....	4
Abb. 2: Beziehung zwischen Harn-pH-Wert und AKB der Ration in raufutterlastigen und kraffutterlastigen Rationen in der Literatur (Daten von BAKER et al., 1992, WALL et al., 1992 und STÜRMER, 2005)	7
Abb. 3: Versuchstierhaltung - Boxen der einzelnen Ponys mit Paddocks.....	14
Abb. 4: Zeitlicher Ablauf eines Fütterungsversuchs.....	15
Abb. 5: Beziehung des mittleren Harn-pH-Wertes zur AKB in den Heurationen.....	34
Abb. 6: Beziehung des mittleren Harn-pH-Wertes zur AKB in den Haferrationen.....	34
Abb. 7: Mittlere Blut-pH-Werte in den einzelnen Versuchen vor und 2 h nach der Fütterung....	35
Abb. 8: Mittlerer arterieller Blut-pH-Wert 2 h postprandial in Beziehung zur AKB der Ration....	36
Abb. 9: Harnvolumen [ml/(100kg*h)] der Versuchsponys in Abhängigkeit von der Kreatininkonzentration im Urin (eigene Daten und Daten von SCHIELE, 2008)	36
Abb. 10: Zusammenhang zwischen mittlerer Ca-Aufnahme und mittlerer fäkaler Ca-Ausscheidung (eigene Untersuchungen und Daten von Stürmer, 2005)	36
Abb. 11: Zusammenhang zwischen mittlerer P-Aufnahme und mittlerer fäkaler P-Ausscheidung (eigene Studie und Daten von Stürmer, 2005).....	36
Abb. 12: Zusammenhang zwischen mittlerer Mg-Aufnahme und mittlerer fäkaler Mg-Ausscheidung - Vergleich der eigenen Daten mit den Daten von STÜRMER (2005) und HINTZ und SCHRYVER (1972, 1973).....	36
Abb. 13: Korrelation zwischen der scheinbaren Verdaulichkeit von Natrium und der gesamten fäkalen TS-Ausscheidung	36
Abb. 14: Abhängigkeit der mittleren renalen Na-Abgabe von der AKB in der Ration.....	36
Abb. 15: Abhängigkeit zwischen mittlerer K-Aufnahme und mittlerer fäkaler K-Ausscheidung .	36
Abb. 16: Abhängigkeit der mittleren renalen K-Abgabe von der mittleren K-Aufnahme	36
Abb. 17: Harn-pH-Wert in Abhängigkeit von der AKB der Ration - Vergleich der Heu- mit den Haferrationen (Ergebnisse dieser Studie und Daten von STÜRMER, 2005).....	36
Abb. 18: Darstellung der Harnansäuerung in Beziehung zur AKB der Ration in heu- und haferlastigen Rationen (eigene Untersuchung und Daten von BAKER et al., 1992; STÜRMER, 2005; WALL et al., 1992)	36
Abb. 19: Zusammenhang zwischen den „Bilanzen der scheinbar verdauten Kationen und Anionen“ (unter Berücksichtigung der scheinbaren Verdaulichkeiten der Mineralstoffe) und dem mittleren Harn-pH-Wert der Versuchsponys über die drei Bilanztage	36
Abb. 20: Mittlerer postprandialer Blut-pH-Wert in Abhängigkeit von der Ammoniumchloridmenge in der Ration	36
Abb. 21: Mittlerer postprandialer Blut-pH-Wert in Abhängigkeit von den stark säuernden Substanzen (Ammoniumchlorid, Ammoniumsulfat und Methionin) in der Ration	36

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AKB	Anionen-Kationen-Bilanz
Artikelnr.	Artikelnummer
BCS	Body Condition Scoring
BE	Basenexzess
BE b	Basenexzess im Blut
BE ecf	Basenexzess in der extrazellulären Flüssigkeit
ber.	berechnet
Bu	Bukra
C	Celsius
ca.	circa
Ca	Calcium
CaCO ₃	Calciumcarbonat
CaCl ₂	Calciumchlorid
Ca/P	Calcium-Phosphor-Verhältnis
CaSO ₄	Calciumsulfat
C ₅ H ₁₁ NO ₂ S	Methionin
Cl	Chlorid
CO ₂	Kohlendioxid
Cys	Cystein
d	Tag
dl	Deziliter
et al.	Mitautoren
Fa.	Firma
g	Gramm
Gh	Gharib
h	Stunde
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
H ₂ O	Wasser
K	Kalium
kg	Kilogramm

KG	Körpergewicht
KM	Körpermasse
l	Liter
m	Meter
Met	Methionin
Mg	Magnesium
mg	Milligramm
MgCl ₂	Magnesiumchlorid
MgSO ₄	Magnesiumsulfat
min	Minuten
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
mmol	Millimol
MW	Mittelwert
μl	Mikroliter
n	Anzahl
Na	Natrium
NaCl	Natriumchlorid
NH ₄ Cl	Ammoniumchlorid
N ₂ H ₈ SO ₄	Ammoniumsulfat
nm	Nanometer
O ₂	Sauerstoff
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
P	Phosphor
pCO ₂	Kohlenstoffdioxid-Partialdruck
pO ₂	Sauerstoff-Partialdruck
postpr.	postprandial
präpr.	präpandial
R	Korrelationskoeffizient
uS	ursprüngliche Substanz
S	Schwefel
s.	siehe
Si	Sissi

STAB	Standardabweichung
sV	scheinbare Verdaulichkeit
Ta	Tarabas
Tab.	Tabelle
TS	Trockensubstanz
wV	wahre Verdaulichkeit

1. Einleitung

Sowohl im Leistungssport als auch in der Diätetik ist die Beeinflussung des Säure-Basen-Haushalts für die Fütterungspraxis beim Pferd von großer Relevanz. Indikationen bestehen immer dann, wenn Verschiebungen des Säure-Basen-Haushalts verhindert oder induziert werden sollen. Beispiele hierfür sind Erkrankungen der Nieren (ARROYO und STÄMPFLI, 2007), die Hyperkaliämische periodische Paralyse, die Equine Rhabdomyolyse (HARRIS und COLLES, 1988), die Urolithiasis (REMILLARD et al., 1992; DUESTERDIECK-ZELLMER, 2007), die Prophylaxe von Stressfrakturen (RALSTON, 1994) und die Muskelübersäuerung.

In einer vorangegangenen Pilotstudie (STÜRMER 2005, KIENZLE et al. 2006) wurde der Einfluss von oral aufgenommenen Mineralsalzen auf den Säure-Basen-Haushalt des Pferds überprüft. Diese Studie kam zu dem Ergebnis, dass der säuernde Effekt von Ammoniumchlorid bei vergleichbarer Anionen-Kationen-Bilanz im Futter abhängig vom Verhältnis zwischen Heu und Hafer ist. Bei Rationen mit hohem Heuanteil war es nicht möglich, den pH-Wert des Harns in den sauren Bereich zu verschieben, während bei Rationen mit hohem Haferanteilen stark saure Harn-pH-Werte erreicht wurden.

In der Studie von STÜRMER (2005) wurden die Rationen nicht mineralisiert, so dass die Zufuhr an Mengenelementen nicht immer bedarfsdeckend war. Auch das Calcium-Phosphor-Verhältnis der Rationen unterschied sich erheblich; somit konnten die Auswirkungen der Rationen auf den Calcium-Phosphor-Stoffwechsel nicht eindeutig den Veränderungen der Anionen-Kationen-Bilanz, des Ca/P-Verhältnisses oder des Rationstyps zugeordnet werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Hypothese, dass das Raufutter-/Krafftutterverhältnis die Stabilität des Säure-Basen-Haushalts beim Pferd erheblich beeinflusst, zu bestätigen. Dabei sollten die verwendeten Rationen bilanziert sein und ein ausgeglichenes Ca/P-Verhältnis haben.

2. Literaturübersicht

Der Säure-Basen-Haushalt ist eines der wichtigsten Regulationssysteme im Organismus. In den verschiedenen Kompartimenten gilt als Messgröße für den Säure-Basen-Haushalt der pH-Wert, der eine Maßzahl für die Aktivität der freien Wasserstoffionen in einer Lösung darstellt. Der pH-Wert ist definiert als der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration in einer Lösung. Im Blut sowie in den extra- und intrazellulären Kompartimenten muss der pH-Wert innerhalb einer gewissen Schwankungsbreite konstant gehalten werden. Der Organismus kann pH-Werte zwischen 7,0 und 7,8 durch pulmonale und renale Regulation und verschiedene Puffersysteme kompensieren (GÄBEL, 2000). Wenn die Werte über- oder unterschritten werden, kann es zu schweren systemischen Störungen kommen, die bis zum Exitus führen können. Bei Störungen des Säure-Basen-Haushalts (Alkalosen und Azidosen) verändern sich die Säurekonzentration im Blut und ihre Ausscheidung über den Harn. Beim Pferd liegt der Referenzbereich für den arteriellen Blut-pH-Wert zwischen 7,34 und 7,44 (KRAFT und DÜRR, 2005).

Um den Einfluss des Futters auf den Säure-Basen-Haushalt abzuschätzen, kann die Anionen-Kationen-Bilanz (AKB) einer Ration berechnet werden. Dabei werden Na, K, Ca und Mg als alkalisierende Komponenten berücksichtigt und S, P und Cl als azidierende (MAREK und WELLMANN, 1932; LENNON et al. 1966; PATIENCE und CHAPLIN, 1997; SCHUKNECHT, 1991; KROHN, 1993; STÜRMER, 2005).

STÜRMER (2005) hat die relevante Literatur zur Regulation des Säure-Basen-Haushalts und den Einfluss der Ernährung bereits ausführlich dargestellt.

Daher wird im Folgenden nur ein kurzer Überblick über die Arbeit von STÜRMER (2005) und die wichtigsten Einflussfaktoren der Fütterung auf den Säure-Basen-Haushalt des Pferdes gegeben. Dabei wird ausschließlich der Intermediärstoffwechsel, insbesondere die Auswirkungen der Fütterung auf den Harn- und den Blut-pH-Wert, besprochen.

2.1 Pilotstudie STÜRMER (2005)

Stürmer (2005) versuchte bei vier adulten Ponys eine Ansäuerung des Harns zu erreichen, indem er verschiedene Chloridsalze (Natriumchlorid, Ammoniumchlorid und Calciumchlorid) zu einer Grundration aus Heu und Hafer hinzufügte. Die Rationen waren nicht bilanziert. Das Heu-/Haferverhältnis der ersten drei Versuche (H1-H3) betrug 88/12 [TS]; im letzten Versuch (KF) wurde das Heu-/Haferverhältnis aufgrund wiederholter Literaturdurchsicht auf 30/70 [TS] (Tab. 1) verändert. Jeder Versuch bestand aus zwei Versuchsabschnitten: Im ersten Teil bekamen zwei Ponys die Versuchsration und zwei die Kontrollration, im zweiten Teil erfolgte der „Crossover“-Versuch mit getauschter Versuchs- und Kontrollgruppe. In den Versuchen H3 und KF erfolgte noch ein dritter Versuchsabschnitt, in dem alle Ponys die doppelte Menge Ammoniumchlorid zugeteilt bekamen. Die Versuchsphasen bestanden jeweils aus einer einwöchigen Anfütterungsphase, einer dreitägigen Bilanzphase und einer mindestens einwöchigen „Washout-Phase“. Während den dreitägigen Bilanzphasen wurde in einer 24 h-Betreuung sowohl der gesamte ausgeschiedene Urin als auch der gesamte Kot der Versuchstiere gesammelt und auf den Gehalt an Mengenelementen untersucht. Am ersten Tag jeder Bilanzphase erfolgten vier arterielle Blutgasuntersuchungen bei allen Versuchsponys. Die erste Blutabnahme wurde unmittelbar präprandial, die drei weiteren im Abstand von je zwei Stunden durchgeführt. Die AKB der Rationen berechnete STÜRMER (2005) mit folgender Formel:

$$\text{AKB (mmol/kg TS)} = 49,9 \cdot \text{Ca} + 82,3 \cdot \text{Mg} + 43,5 \cdot \text{Na} + 25,6 \cdot \text{K} - 59 \cdot \text{P} - 13 \cdot (\text{Met} + \text{Cys}) - 28,2 \cdot \text{Cl}$$

Im Versuch H1 wurde zu einer Grundration aus Heu und Hafer 0,5% [TS] CaCl_2 zugegeben, im Versuch H2 0,4% [TS] NaCl. In den Versuchen H3 und KF wurden 0,36% und 0,72% [TS] NH_4Cl supplementiert.

Das Ca/P-Verhältnis in den heulastigen Versuchen H1, H2 und H3 lag bei 2,1 oder 2,8; im Versuch KF hingegen verringerte sich das Ca/P-Verhältnis auf 0,6. Stürmer (2005) fand bei den Blutgasuntersuchungen eine rationsunabhängige straffe lineare Beziehung zwischen der AKB der Ration und den präprandialen arteriellen Blut-pH-Werten ($y = 0,0004x + 7,3742$; $R^2 = 0,76$). Einen systemati-

schen Effekt der AKB auf den Mineralstoffhaushalt gab es in seiner Studie nicht.

Tab. 1: Versuche, Mineralzusätze, Heu-/Haferverhältnis, AKB (mmol/kgTS) und mittlerer Harn-pH-Wert über die drei Bilanztage in der Arbeit von STÜRMER (2005)

Versuch		Heu-/Haferverhältnis		AKB	Harn-pH
		In TS	In uS		
H1	Kontrolle	87,7/12,3	87,5/12,5	179	7,52 ± 0,45
	CaCl ₂	87,7/12,3	87,5/12,5	179	7,34 ± 0,29
H2	Kontrolle	87,7/12,3	87,5/12,5	179	7,58 ± 0,40
	NaCl	87,7/12,3	87,5/12,5	179	7,41 ± 0,40
H3	Kontrolle	87,7/12,3	87,5/12,5	179	7,54 ± 0,38
	NH ₄ Cl	87,7/12,3	87,5/12,5	111	7,38 ± 0,32
	2x NH ₄ Cl	87,7/12,3	87,5/12,5	43	7,31 ± 0,32
KF	Kontrolle	29,9/70,1	29,4/70,6	131	7,55 ± 0,37
	NH ₄ Cl	29,9/70,1	29,4/70,6	53	6,67 ± 0,84
	2x NH ₄ Cl	29,9/70,1	29,4/70,6	-26	4,97 ± 0,15

Der mittlere Harn-pH-Wert sank in den heulastigen Versuchen H1-H3 nur geringfügig wenn auch signifikant im Vergleich zur Kontrollgruppe. Erst im haferreichen Versuch KF konnte durch die Ammoniumchloridzulagen eine deutliche Azidierung des Harns der Ponys erreicht werden (Abb.1). Neben der AKB war das Raufutter-/Krafftutterverhältnis in der Studie von STÜRMER (2005) der entscheidender Faktor zur Beeinflussung des Säure-Basen-Haushalts beim Pferd.

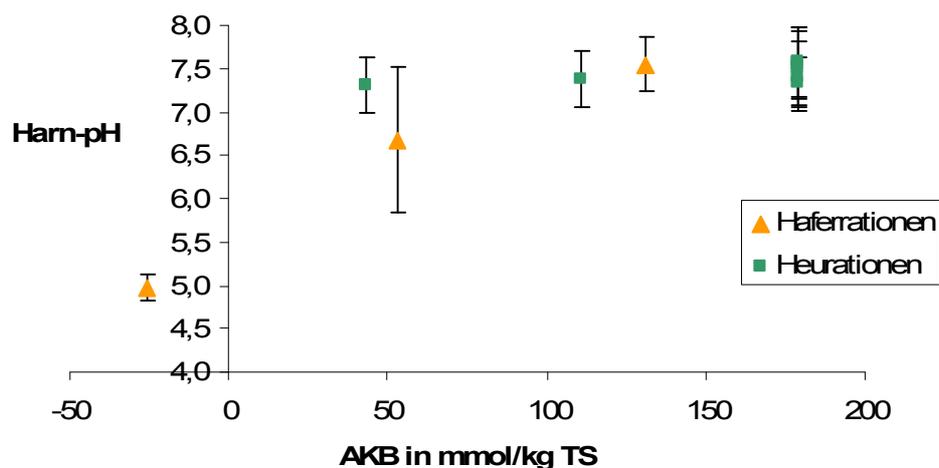


Abb. 1: Beziehung zwischen dem Harn-pH-Wert und der AKB der Ration in der Studie von STÜRMER (2005)

2.2 Einflussfaktoren der Fütterung auf den Säure-Basen-Haushalt beim Pferd

Verschiedene Autoren untersuchten bereits in der Vergangenheit die Wirkung von säuernden Futterzusätzen beim Pferd und stellten Rationen unterschiedlicher AKB her. Auffällig ist, dass stets eine Grundration mit einem relativ niedrigen Raufutter-/Kraffutterverhältnis gewählt wurde. Die meisten Autoren (BAKER et al., 1992, 1993 und 1998; STUTZ et al., 1992; WALL et al., 1992; POPPLEWELL et al., 1993; COOPER et al., 1998) fütterten eine Grundration, die aus 40% Raufutter und 60% Kraffutter bestand, und säuerten diese mit Ammoniumchlorid und/oder Calciumchlorid an (Tab. 2).

Tab. 2: Raufutter-/Krafftutterverhältnis, Ca/P-Verhältnis, AKB [mmol/kg TS], neu berechnete AKB [mmol/kg TS], säuernde Zusätze, mittlere Harn-pH-Werte und Blut-pH-Werte in der Literatur (soweit Angaben vorhanden)

Literatur	Rau-/Krafftutter	Ca/P	AKB	AKB ber.	Harn-pH	Blut-pH	Säuernde Zusätze
BAKER et al. (1992)	40/60	1,4	231 ¹	364 ⁴	7,52	7,37	-
	40/60	1,3	21 ¹	-43 ⁴	5,59	7,35	CaCl ₂ , NH ₄ Cl
	40/60	1,2	125 ¹	131 ⁴	6,97	7,31	CaCl ₂
BAKER et al. (1993)	40/60	1,8	227 ¹	316 ⁴			-
	40/60	1,8	24 ¹	79 ⁴			CaCl ₂ , NH ₄ Cl
	40/60	1,8	127 ¹	177 ⁴			CaCl ₂
BAKER et al. (1998)	40/60	1,5	0 ²		6,05	7,35	MgSO ₄
	40/60	1,4	53 ²		5,73	7,33	NH ₄ Cl
COOPER et al. (1998)	40/60		110 ²				-
	40/60		86 ²				CaCl ₂ , NH ₄ Cl
COOPER et al. (2000)	30/70	1,8	-52 ²	238 ⁴			CaCl ₂
MCKENZIE et al. (2002)	55/45	0,9	85 ²	207 ⁴	5,25	7,33	org. geb. S, Cl
	55/45	1,5	190 ²	448 ⁴	8,00		-
MÜLLER et al. (2001)	50/50	4,6	333 ²	794 ⁴	7,67	7,38	-
	30/70	4,9	124 ²	837 ⁴	7,13	7,37	NH ₄ Cl
	30/70	4,6	154 ²	888 ⁴	7,11	7,37	NH ₄ Cl
	50/50	4,1	152 ²	551 ⁴	6,93	7,37	NH ₄ Cl
POPPLEWELL et al. (1993)	40/60		10 ²		5,95	7,35	CaCl ₂ , NH ₄ Cl
	40/60		95 ²		7,33	7,37	CaCl ₂
	40/60		165 ²		7,45	7,39	-
REMILLARD et al. (1992)		1,5			6,50		NH ₄ Cl
		1,5			5,00		N ₂ H ₈ SO ₄
SCHWARZER et al. (1997)		1,8			5,90	7,37	NaCl
					7,30	7,38	-
STÜRMER (2005)	88/12	2,1	179 ³	101 ⁴	7,52	7,43	-
	88/12	2,8	179 ³	100 ⁴	7,34	7,44	CaCl ₂
	88/12	2,1	179 ³	100 ⁴	7,41	7,43	NaCl
	88/12	2,1	111 ³	33 ⁴	7,38	7,45	NH ₄ Cl
	88/12	2,1	43 ³	-36 ⁴	7,31	7,40	NH ₄ Cl
	30/70	0,6	131 ³	86 ⁴	7,55	7,40	-
	30/70	0,6	53 ³	7 ⁴	6,67	7,39	NH ₄ Cl
	30/70	0,6	-26 ³	-71 ⁴	4,97	7,36	NH ₄ Cl
STUTZ et al. (1992)	40/60		201 ¹		7,37		-
	40/60		107 ¹		7,37		CaCl ₂
	40/60		5 ¹		7,34		CaCl ₂ , NH ₄ Cl
TOPLIFF et al. (1989)	50/50		6,5 ¹				NH ₄ Cl
WALL et al. (1992)	40/60	1,9	201 ¹	336 ⁴	7,38		-
	40/60	1,8	107 ¹	226 ⁴	7,17		CaCl ₂
	40/60	1,8	5 ¹	109 ⁴	6,73		CaCl ₂ , NH ₄ Cl
ZEYNER et al. (2008)	62/38	1,0				7,41	NaCl

¹AKB berechnet: Na + K - Cl

²AKB berechnet: (Na + K) - (Cl + S)

³AKB berechnet: 49,9*Ca + 82,3*Mg + 43,5*Na + 25,6*K - 59*P - 13*(Met + Cys) - 28,2Cl

⁴AKB berechnet: 49,9*Ca + 82,3*Mg + 43,5*Na + 25,6*K - 59*P - 62,4*S - 28,2Cl

In der Abb. 2 ist der Zusammenhang zwischen der AKB der Ration und dem mittleren Harn-pH-Wert mit den Daten von BAKER et al. (1992), WALL et al. (1992) und STÜRMER (2005) dargestellt. Eine niedrige AKB der Ration zeigte bei Betrachtung der Daten aus der Literatur nur einen Effekt bei raufutterarmen Rationen. Dann reagierte der Harn-pH-Wert beim Pferd ähnlich wie bei anderen monogastrischen Säugetieren. Bei Katzen, Hunden und Zuchtsauen beispielsweise liegt der Harn-pH-Wert bei einer AKB um die 0 mmol/kg TS bei etwa 6,5 (SCHUKNECHT, 1991; BEHNSEN, 1992; KROHN, 1993).

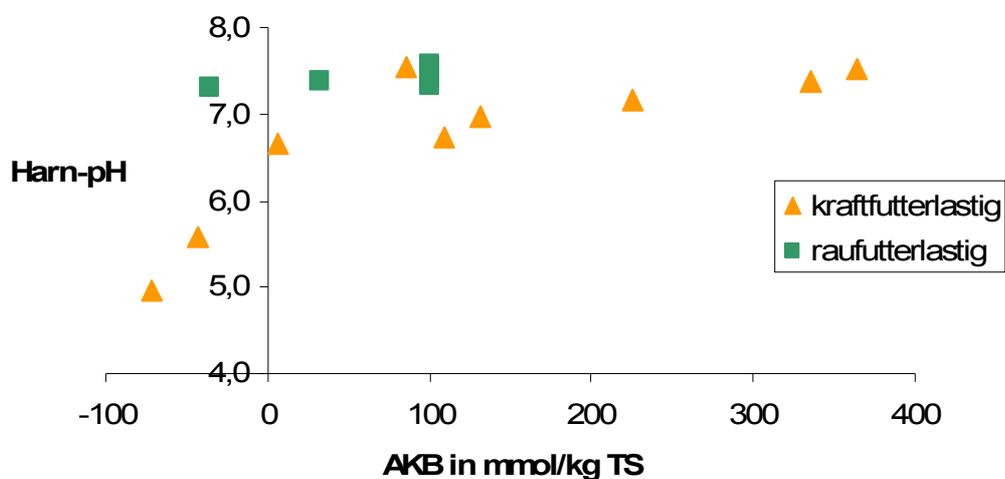


Abb. 2: Beziehung zwischen Harn-pH-Wert und AKB der Ration in raufutterlastigen und kraftfutterlastigen Rationen in der Literatur (Daten von BAKER et al., 1992, WALL et al., 1992 und STÜRMER, 2005)

Auffällig ist, dass STÜRMER (2005) mit dem niedrigsten Raufutter-/Kraftfutterverhältnis von 30/70 die stärkste Harnansäuerung mit einem pH-Wert von 4,97 erreichte (Tab. 2). Eine vergleichbare Harnansäuerung erreichten nur REMILLARD et al. (1992) bei einem an Urolithiasis erkrankten Pferd (Raufutter-/Kraftfutterverhältnis nicht angegeben).

2.2.1 Effekte der AKB

- **auf den Säure-Basen-Haushalt**

Nach Fütterung von Rationen mit niedriger AKB beschrieben die meisten Autoren (Tab. 2) Anzeichen einer metabolischen Azidose, die mit Absenkung des Blut-pH-Werts, erniedrigter HCO_3^- -Konzentration, erniedrigtem Basenexzess und erhöhter renaler Säureausscheidung einhergeht. WALL et al. (1992) ermittelten die niedrigsten Harn-pH-Werte sowohl nach der morgendlichen als auch nach der abendlichen Fütterung 4 h postprandial. Der Blut-pH-Wert erreichte eine Stunde und die HCO_3^- -Konzentration 2 bis 3 h postprandial die maximale Absenkung (STUTZ et al., 1992). Außerdem beobachteten einige Autoren zusätzlich einen etwas niedrigeren pCO_2 im Blut, den sie mit einer beginnenden respiratorischen Kompensation der metabolischen Azidose erklärten.

- **auf den Mineralstoffhaushalt**

Mehrere Autoren stellten negative Ca-Bilanzen nach Fütterung von Rationen mit erniedrigter AKB fest (WALL et al., 1992; BAKER et al., 1992, 1993, 1998) und vermuteten deswegen eine osteoporotische Schwächung des Skeletts durch eine anionenreiche Fütterung. Ebenso wurde von mehreren Autoren bestätigt, dass Rationen mit einer niedrigen AKB zur erhöhten renalen Ausscheidung von Calcium führen (WALL et al., 1992; BAKER et al., 1993; COOPER et al., 2000). MCKENZIE et al. (2002) stellten nach Fütterung von Rationen mit erniedrigter AKB auch eine signifikant erhöhte Konzentration von Calcium im Blut fest. Für diese Veränderungen im Ca-Stoffwechsel wurde als Ursache sowohl eine erhöhte Wirkung des Parathormons durch anionenreiche Fütterung als auch eine Hemmung der tubulären Rückresorption von Calcium in den Nieren durch die azidotische Stoffwechsellage diskutiert.

BAKER et al. (1993) und MCKENZIE et al. (2002) stellten auch eine erhöhte renale Na-Ausscheidung bei Rationen mit niedriger AKB im Vergleich zu Rationen mit höherer AKB fest. Die Vermutung dieser Autoren war, dass Na^+ als Begleitung für Cl^- über die Nieren ausgeschieden wird.

Über die Auswirkungen einer sauren AKB auf den P-, K- und Mg-Stoffwechsel beim Pferd sind die Literaturangaben sehr widersprüchlich.

MCKENZIE et al. (2002) fanden die höchste renale P-Ausscheidung bei der Ration mit der niedrigsten AKB, während COOPER et al. (2000) eine signifikant erhöhte renale P-Ausscheidung bei Rationen mit hoher AKB feststellten. Andere Autoren beobachteten keinen Zusammenhang zwischen der AKB der Ration und dem P-Stoffwechsel (WALL et al., 1992; BAKER et al., 1992, 1993).

Ähnlich verhält es sich mit der Wirkung der AKB auf den Mg-Stoffwechsel. BAKER et al. (1993) stellten bei anionenreicher Fütterung eine erhöhte fäkale Ausscheidung von Magnesium fest. MCKENZIE et al. (2002) hingegen fanden eine signifikant verminderte fäkale Mg-Ausscheidung bei Rationen mit niedriger AKB. WALL et al. (1992) und BAKER et al. (1998) bemerkten in ihren Untersuchungen keine Wirkung der AKB auf den Mg-Stoffwechsel.

In der vorliegenden Literatur ließen sich die Veränderungen des K-Stoffwechsels nicht eindeutig den Veränderungen der AKB zuordnen, da stets eine Variation der K-Aufnahme vorlag. Lediglich MCKENZIE et al. (2002) fanden eine positive Korrelation zwischen der AKB und der renalen K-Ausscheidung.

Anders verhält es sich mit den Auswirkungen der AKB auf den Cl-Haushalt. Da zur Harnansäuerung oft Cl-Verbindungen verwendet wurden, beschrieben die meisten Autoren folglich auch eine erhöhte renale Cl-Ausscheidung in Zusammenhang mit der Fütterung von Rationen niedriger AKB.

2.2.2 Effekte des Raufutter-/Krafftutterverhältnis

- **auf den Harn-pH-Wert**

Das Raufutter-/Krafftutterverhältnis in der Ration hat unterschiedliche Auswirkungen auf den Harn-pH-Wert beim Pferd. WOOD et al. (1990) untersuchten den Harn-pH-Wert bei 65 Weidestuten mit und ohne Krafftutterzulage. Die Gruppe mit reiner Weidefütterung hatte einen mittleren Urin-pH-Wert von 7,94. Die Gruppe mit Krafftutterzulage hatte im Durchschnitt einen Wert von 7,42. Ein Teil der Pferde wurde für einige Tage in Boxen gehalten und entweder nur mit Heu oder mit einer Heu-/Krafftutterration gefüttert. Während der Harn-pH-Wert bei der Gruppe mit reiner Heufütterung stabil bei 8,0 - 8,2 lag, fiel der Harn-pH-Wert in der anderen Gruppe ab dem zweiten Tag von 7,9 auf 7,3 und stieg ab dem vierten Tag wieder an. Aufgrund ihrer Zusammensetzung unterscheiden

sich Krafffutter und Raufutter zwar grundsätzlich in ihrer AKB, da Raufutter in der Regel mehr Kalium aber weniger Chlorid und Phosphor enthält (WALLER et al., 2004). Dennoch fand STÜRMER (2005) bei vergleichbarer AKB die niedrigeren Harn-pH-Werte in haferlastigen Rationen.

- **auf den Säure-Basen-Status des Bluts**

Nach der Fütterung kommt es beim Pferd zu einer postprandialen Azidierung des Blutplasmas durch Verschiebungen von Wasser und Elektrolyten (Na^+ , K^+ , Cl^-) aus dem Plasma und dem Interstitium in den oberen Gastrointestinaltrakt und zurück (KERR und SNOW, 1982; WALLER et al., 2004). Der Plasma-proteingehalt steigt nach der Fütterung an (MEYER et al., 1993), während es zu einem deutlichen Abfall der K-Konzentration im Blut kommt. Die Plasmakonzentration von Natrium bleibt annähernd gleich und es kommt zu einem Absinken der Cl^- -Konzentration im Blut (WALLER et al., 2004).

RALSTON et al. (1993) beobachteten bei reiner Heufütterung nur leichte Veränderungen des Plasma-pH-Werts, sie stellten allerdings schon eine Stunde postprandial einen leichten Anstieg von 7,40 auf 7,42 fest. Bei alleiniger Fütterung eines stärkereichen Krafffutters fiel der pH-Wert im venösen Blut innerhalb einer Stunde postprandial von 7,41 auf 7,39 (RALSTON, 1994). Bei einem Vergleich zweier Rationen mit identischer AKB und unterschiedlichem Raufutter-/Krafffutterverhältnis von 90/10 und 40/60 war zwei Stunden postprandial der Blut-pH-Wert zwar bei beiden Rationstypen gesunken, aber bei der raufutterarmen Ration schneller und tiefer (RALSTON et al., 1993). MEYER et al. (1992) fanden sowohl präprandial als auch postprandial höhere Ca-Konzentrationen im Plasma bei Fütterung von Luzerneheu als von konzentriertem Pelletfutter, obwohl beide Rationen einen nahezu identischen Calciumgehalt hatten.

Raufutter und Krafffutter beeinflussen die Futteraufnahme beim Pferd und die Bildung von Verdauungssekreten sehr unterschiedlich. Der Trockensubstanzgehalt eines abgeschluckten Futterbissens ist genauso wie der Trockensubstanzgehalt des Mageninhalts beim Krafffutter etwa doppelt so hoch wie beim Raufutter (MEYER und COENEN, 2002). Bei raufutterreichen Rationen sind die Fresszeiten deutlich länger als bei raufutterarmen Rationen (MEYER et al., 1993; STÜRMER, 2005; BRÜSSOW 2006). Großpferde brauchen

beispielsweise für 1 kg langhalmiges Heu ca. 40 min und für 1 kg Hafer oder pelletiertes Mischfutter ca. 10 min (MEYER et al., 1975). Außerdem kauen die Pferde bei Raufutteraufnahme sowohl mit einer höheren Frequenz als auch mit einer höheren Intensität (BRÜSSOW, 2006) als bei Kraftfutter. Durch diese genannten Gründe kommt es bei der Raufutteraufnahme im Vergleich zur Kraftfutteraufnahme vermehrt zur Speichelproduktion (MEYER et al., 1986).

Pferdespeichel ist im Vergleich zu Blutplasma reicher an Kalium und ärmer an Natrium und Chlorid - zudem enthält der Speichel Bicarbonat, Magnesium, Phosphate und Calcium (ECKERSALL, 1984). Die Sekretion von Speichel und anderen Verdauungsssekreten (Tab. 3) tragen vermutlich zu den postprandialen Veränderungen des Blutes bei (KERR und SNOW, 1982).

Tab. 3: Elektrolytgehalte der Verdauungsssekrete nach MEYER und COENEN (2002)

Verdauungs-Sekrete	Menge	Zusammensetzung (g/kg)						AKB ber. Je kg Speichel
	(kg/100 KM/d)	Na	Cl	K	Ca	Mg	P	
Speichel	3-5	1,5	2-3	1,1	0,15	0,03	0,02	32
Magensaft	5-10		3					60
Pankreassaft	5-10	3,3	3,2	0,2				-85
Galle	3	3,4	3,6	0,3	0,13	0,04	0,20	52
Darmsaft	2-4							

- **auf den Mineralstoffhaushalt**

Das Raufutter-/Kraftfutterverhältnis in der Pferdefütterung hat auch Auswirkungen auf die Mineralstoffverdaulichkeiten, die wiederum durch ihre alkalisierende oder azidierende Wirkung Einfluss auf den Säure-Basen-Haushalt nehmen.

Die scheinbaren Verdaulichkeiten von Calcium beim Pferd sind bei raufutterreichen Rationen höher als bei kraftfutterlastigen Rationen (MEYER et al., 1990, 1992 und 1993; NEHRING, 1991; STÜRMER 2005).

Bei den scheinbaren P-Verdaulichkeiten verhält es sich umgekehrt, diese sind beim Heu deutlich niedriger als beim Kraftfutter und meist im negativen Bereich (MEYER et al., 1982; NEHRING, 1991; STÜRMER, 2005). Bei STÜRMER (2005), der Grasheu in seinen Heurationen verwendete, lagen die scheinbaren Verdaulichkeiten von Phosphor in den Heurationen zwischen -89,1 und -4,2 %.

CROZIER et al. (1997) hingegen stellten bei reiner Luzernenheufütterung eine scheinbare P-Verdaulichkeit von 8% fest. NEHRING (1991) verfütterte ebenfalls Luzernenheu in seiner Studie. Er stellte für Phosphor eine scheinbare Verdaulichkeit von -6 bis 8% fest. Dabei besteht nach NEHRING (1991) und TELEB (1984) nur eine schwache Korrelation zwischen der P-Aufnahme und der P-Nettoabsorption.

Nehring (1991) stellte auch für Magnesium rationsabhängige Unterschiede fest. In seiner Studie lagen die scheinbaren Verdaulichkeiten von Magnesium bei den Raufuttrationen signifikant höher als bei den Mischfuttrationen bei nahezu gleicher Mg-Aufnahme. Allerdings verfütterte er in seinen Versuchen Luzernenheu. Dies stimmt mit den Beobachtungen von MEYER et al. (1992), die ebenfalls Luzernenheu verfütterten, überein. STÜRMER (2005) und MEYER et al. (1993) fanden bei den Mg-Verdaulichkeiten keine Unterschiede zwischen Grasheu- und Krafffuttrationen.

Güldenhaupt (1979) beobachtete eine enge negative Korrelation zwischen dem Rohfasergehalt der Ration und der scheinbaren Verdaulichkeit von Natrium bei sehr schwankenden Na-Aufnahmen.

Rationsabhängige Unterschiede bei K- und Cl-Verdaulichkeiten sind aus der Literatur nicht bekannt.

MEYER et al. (1992) stellten bei raufutterreichen Rationen im Vergleich zu den krafffutterreichen eine vermehrte Ausscheidung von Calcium und Magnesium über die Nieren fest.

3. Tiere, Material und Methoden

3.1 Versuchsziel

Ziel der Studie war es, die Hypothese von STÜRMER (2005), dass das Raufutter-/Kraffutterverhältnis die Stabilität des Säure-Basen-Haushalts beim Pferd erheblich beeinflusst, zu bestätigen. Dabei sollten die verwendeten Rationen bilanziert sein und ein ausgeglichenes Ca/P-Verhältnis haben.

3.2 Versuchstiere

3.2.1 Versuchstierdaten

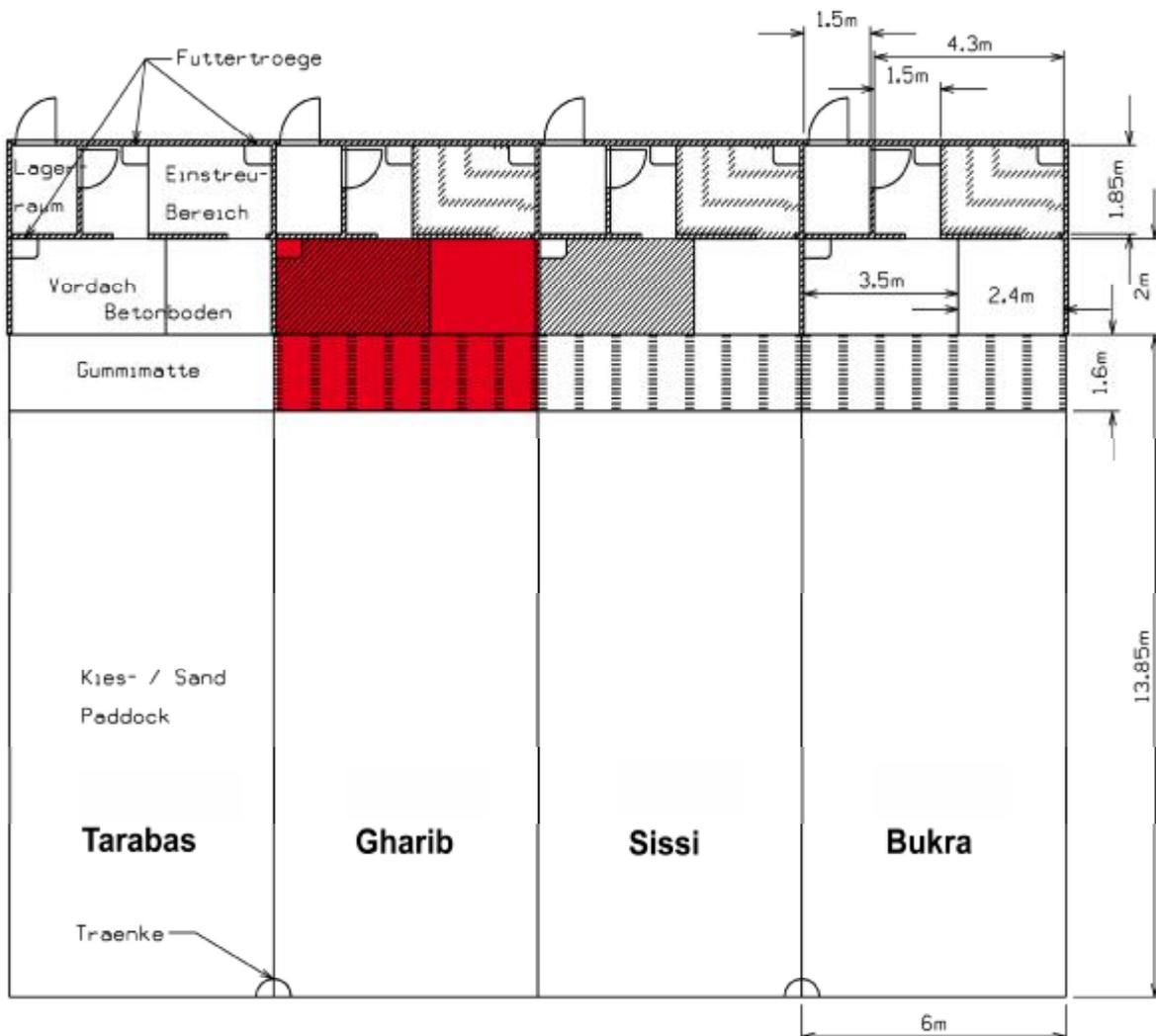
Vier Ponys standen für den Versuch zur Verfügung: die Falbenstute Bukra, die Schimmelstute Sissi, der dunkelbraune Wallach Gharib und der Schimmelwallach Tarabas (Tab. 4). Eine Versuchstiergenehmigung lag vor. Die Ponys wurden regelmäßig entwurmt und gegen Tetanus und Influenza geimpft. Vor Beginn des Versuchs wurden die Tiere gewogen, es wurde ein „Body Condition Scoring“ nach SCHRAMME (2003) durchgeführt, das Zahnalter geschätzt und eine Gewichtsschätzung nach HOIS (2004) gemacht. Der Gesundheitszustand der Tiere wurde durch eine klinische Untersuchung und ein Blutbild überprüft. Des Weiteren wurden die Zähne kontrolliert und durch Abschleifen der Zahnkanten korrigiert.

Tab. 4: Versuchstierdaten

Pony	Bukra	Sissi	Gharib	Tarabas
Lebensnummer	DE 398980325385	DE 398980325285	DE 398980325485	DE 398980401787
Geschlecht	Stute	Stute	Wallach	Wallach
Zahnalter	18-19	19-20	12-13	20-22
Gewicht (kg)	393	271	250	281
BCS	7	5	5	7

3.2.2 Versuchstierhaltung

Während der 7-tägigen Anfütterungsphase (Gewöhnungsphase) stand jedem Pony eine 8 m² große Box zur Verfügung, von der die Grundfläche zu 65 % mit Hanfstreu (Firma Scharrer, Happurg-Kainsbach) eingestreut war, sowie ein 95 m² großer Paddock. Während der 3-tägigen Bilanzphase wurden die Pferde auf einer 21,6 m² Fläche gehalten, die teilweise überdacht war (Abb. 3). Zugang zu den Boxen hatten sie in diesem Zeitraum nur unter Aufsicht zum Stall. Die Ponys hatten zu jeder Zeit des Versuchs Sichtkontakt zueinander und über den Zaun hinweg auch direkten Kontakt miteinander. Wasser stand immer ad libitum zur Verfügung. In den Versuchspausen hatten die Ponys stundenweise Zugang zu einer Weide.



= Bereich eines Ponys während der Bilanzphase

Abb. 3: Versuchstierhaltung - Boxen der einzelnen Ponys mit Paddocks

3.3 Versuchsplan

Es wurden 5 Versuche mit heulastigen und haferlastigen Rationen unterschiedlicher AKB durchgeführt. Die Versuchsrationen wurden jeweils über einen Zeitraum von 10 Tagen gefüttert, wobei die Anfütterungsphasen je 7 Tage und die Bilanzphasen je 3 Tage betragen. Jeweils zwei Ponys erhielten die Versuchsration und zwei Ponys die Kontrollration. Anschließend hatten die Pferde eine „Washout-Phase“ von mindestens 7 Tagen. Danach folgte ein „Crossover“, das heißt der Versuch wurde wiederholt mit getauschter Kontroll- und Versuchsgruppe (Abb. 4).

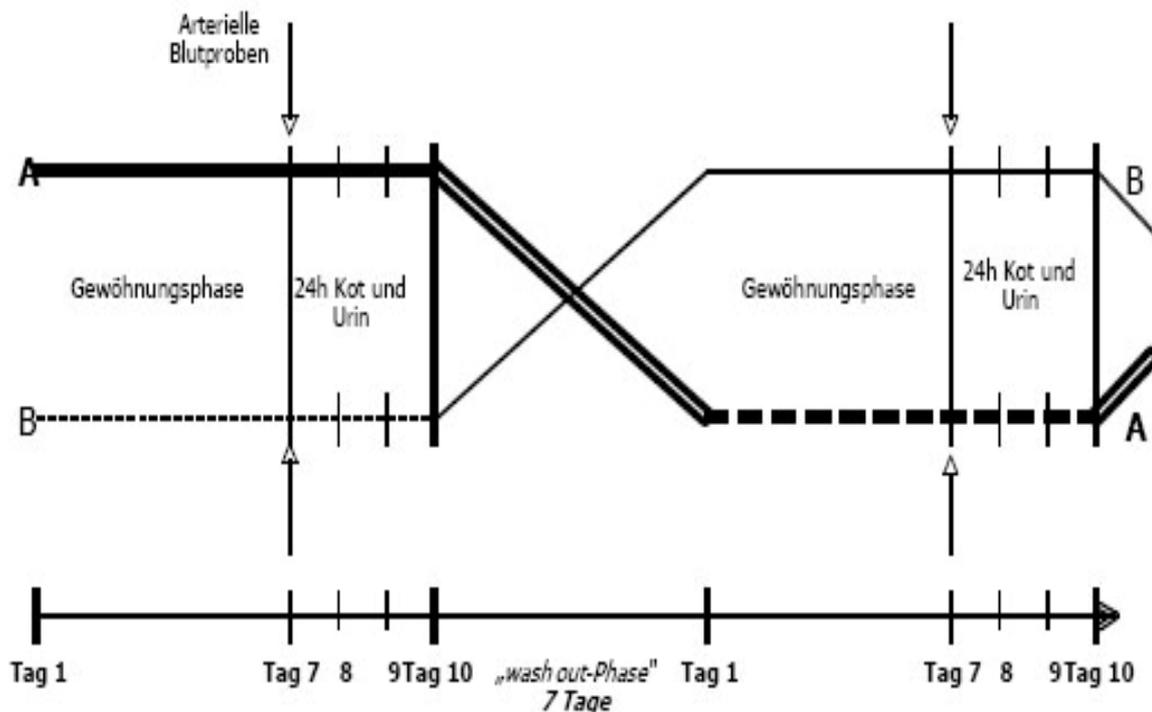


Abb. 4: Zeitlicher Ablauf eines Fütterungsversuchs

3.4 Versuchsrationen

Das Versuchsfutter bestand jeweils aus Heu, Hafer und einem speziell gemischten Mineralfutter. Die Energiezuteilung orientierte sich an der Fütterung der Ponys außerhalb der Versuchszeiten. Damit sollte eine ungefähre Gewichtskonstanz der Versuchstiere gewährleistet werden. Die Rationen waren bilanziert und entweder raufutter- oder krafffutterlastig. In allen Fütterungsversuchen wurden die Harn-pH-Werte in den Bilanzphasen über 72 h gemessen.

Außer im Versuch Heu II wurde in jedem Versuch eine Mineralstoffbilanz durchgeführt (Tab. 5).

Tab. 5: Fütterungsversuche

Versuchsbezeichnung	Versuch/Kontrolle	heu-/ haferlastig	24h Harn-pH	Mineralstoffbilanz
Heu I/86	Versuch	heulastig	+	+
Heu I/214	Kontrolle	heulastig	+	+
Heu II/-106	Versuch	heulastig	+	-
Heu II/170	Kontrolle	heulastig	+	-
Heu III /-112	Versuch	heulastig	+	+
Heu III/186	Kontrolle	heulastig	+	+
Hafer I/-22	Versuch	haferlastig	+	+
Hafer I/233	Kontrolle	haferlastig	+	+
Hafer II/-85	Versuch	haferlastig	+	+
Hafer II/214	Kontrolle	haferlastig	+	+

Die TS-Aufnahme der Tiere betrug in den haferlastigen Versuchen Hafer I und Hafer II $1,0 \pm 0,13$ kg/100 kg KM. Bei den heulastigen Versuchen Heu I, II dagegen lag die TS-Aufnahme bei $1,2 \pm 0,16$ kg/100 kg KM.

Das Heu-/Haferverhältnis in der Trockensubstanz und in der ursprünglichen Substanz der jeweiligen Versuchsrationen ist in der Tabelle 6 aufgeführt.

Tab. 6: Heu-/Haferverhältnis der Versuchsrationen

Versuche	Heu-/Haferverhältnis in den Rationen	
	TS	uS
Heu I	76,1/23,9	77,1/22,9
Heu II	76,7/23,3	77,1/22,9
Heu III	82,7/17,3	83,3/16,7
Hafer I	38,3/61,7	40,0/60,0
Hafer II	37,5/62,5	39,5/60,5

Die Tabelle 7 zeigt die Zusammensetzung der verwendeten Futtermittel. Der Hafer wurde in allen Fütterungsversuchen verwendet. Das Heu A kam in den Versuchen Heu I und Hafer I zum Einsatz. Das Heu B war Bestandteil der Versuchsrationen Heu II, Heu III und Hafer II. Im Versuch Heu III wurde zusätzlich noch das Heu C gefüttert.

Tab. 7: Mineralstoffgehalt der verwendeten Futtermittel in g/kg TS

Futtermittel	Versuch	Ca	Mg	P	Na	K	Cl	S
Heu A	Heu I, Hafer I	3,9	1,8	2,4	0,6	11,4	1,1	1,1
Heu B	Heu II, Heu III, Hafer II	3,4	1,6	3,1	1,3	13,0	3,2	1,7
Heu C	Heu III	5,0	1,9	3,2	0,8	15,9	5,5	1,8
Hafer	Heu I,II,III und Hafer I,II	0,9	1,1	3,6	0,1	4,9	0,4	1,5

Das Mineralfutter zum Bilanzieren und Ansäuern der einzelnen Rationen wurde aus folgenden Komponenten gemischt: Methionin, Ammoniumchlorid, Natriumchlorid, Calciumsulfat, Ammoniumsulfat, Magnesiumchlorid und Calciumcarbonat (Tab. 8). In der Tabelle 9 ist der Mineralstoffgehalt der Versuchsrationen in g/kg TS dargestellt.

Tab. 8: Verwendete Mineralzusätze

Zusatz	Formel	g/kg uS	g/kg uS
Ammoniumchlorid	NH ₄ Cl	Cl: 663	
Natriumchlorid	NaCl	Na: 393	Cl: 607
Magnesiumchlorid	MgCl ₂ * 6 H ₂ O	Mg: 120	Cl: 349
Calciumcarbonat	CaCO ₃	Ca: 360	
Methionin	C ₅ H ₁₁ NO ₂ S	S: 215	
Calciumsulfat	CaSO ₄ *2 H ₂ O	Ca: 233	S: 186
Ammoniumsulfat	N ₂ H ₈ SO ₄	S: 243	

Tab. 9: Mineralstoffgehalt der Rationen in g/kg TS

Versuch	Ca	P	Mg	Na	K	Cl	S
Heu I/86	4,2	2,6	1,6	1,0	9,9	5,3	4,1
Heu I/214	4,2	2,6	1,7	1,0	10,0	5,0	2,2
Heu II/-106	5,3	3,1	1,4	1,6	11,1	6,8	7,4
Heu II/170	5,4	3,2	1,5	1,9	11,3	6,4	3,6
Heu III /-112	4,0	3,2	1,6	1,7	12,7	13,4	4,4
Heu III/186	4,1	3,2	1,6	1,7	12,9	7,1	2,7
Hafer I/-22	5,5	3,2	1,3	1,6	6,5	6,0	4,4
Hafer I/233	6,1	3,2	1,3	2,1	6,5	5,7	1,4
Hafer II/-85	4,8	3,4	2,0	2,0	6,9	8,5	5,1
Hafer II/214	4,9	3,4	2,2	2,9	7,0	8,0	1,5

Das Calcium-Phosphor-Verhältnis der Versuchsrationen lag zwischen 1,3 und 1,9 und war somit stets ausgeglichen (Tab. 10).

Die Anionen-Kationen-Bilanz der Rationen wurde mit folgender Formel berechnet:

$$AKB(\text{mmol kgTS}) = 499 \times Ca + 823 \times Mg + 435 \times Na + 25,6 \times K - 590 \times P - 624 \times S - 28,2 \times Cl$$

Die Gehalte der Mengenelemente werden in g/kg TS in die Formel eingesetzt. Die einzelnen Faktoren der Mengenelemente errechnen sich auf folgende Weise:

$$Faktor = 1000 \times \frac{\text{Wertigkeit des Elements}}{\text{Molekulargewicht des Elements}}$$

Die Elemente Na, K und Cl sind einwertig, während S, Ca und Mg zweiwertig sind. Beim Phosphor wurde eine Wertigkeit von 1,8 angenommen, da der Phosphor in den verwendeten Futtermitteln ausschließlich organisch gebunden vorlag. Nach HARRINGTON und LEMANN (1970) entsteht bei der Umsetzung von organisch gebundenem Phosphor bei einem physiologischen pH-Wert von 7,4 zu 80% sekundäres und zu 20% primäres Phosphat, was einer Freisetzung von 1,8 Mol Protonen pro Mol umgesetztes organisches Phosphat entspricht.

Tab. 10: AKB und Ca/P-Verhältnis der Rationen

Versuch	AKB Versuch in mmol/kg TS	AKB Kontrolle in mmol/kg TS	Ca/P Versuch	Ca/P Kontrolle
Heu I	86	214	1,6	1,6
Heu II	-106	170	1,7	1,7
Heu III	-112	186	1,3	1,3
Hafer I	-22	233	1,7	1,9
Hafer II	-85	214	1,4	1,5

3.5 Versuchstechnik

3.5.1 Anfütterungsphase

Die Pferde wurden zweimal täglich mit Heu und Hafer gefüttert, wobei sie nach der morgendlichen Fütterung das entsprechende Versuchsmineralfutter vermischt mit Wasser und 50 g Apfelmus mit einer Plastikspritze direkt ins Maul verabreicht bekamen. Das Mineralfutter wurde mit der Laborwaage PM 4000 (SNR L715969, Fa. Mettler, Gießen) täglich abgewogen. Bei einem Vorversuch wurde das Mineralfutter mit Bananenbrei und Zucker vermischt und dem Hafer untergemischt. Auf diese Weise wurden aber weder der Hafer noch das Mineralfutter von den Pferden vollständig aufgenommen. Eine vollständige Aufnahme der zum Teil sehr hohen Mineralfuttermengen konnte nur durch die direkte Verabreichung über das Maul gewährleistet werden.

Von jedem Pony wurde einmal täglich der Urin zur Bestimmung des Harn-pH-Wertes aufgefangen. Der Harnabsatz auf der „spritzenden“ Paddockoberfläche war den Ponys unangenehm. Durch vorangegangene Versuche waren die Ponys bereits so konditioniert, dass sie Urin nur in den eingestreuten Boxen absetzten. Dazu wurde ihnen der Zugang zu den Boxen für einige Stunden versperrt. Sobald man die Ponys dann in die eingestreuten Boxen ließ, setzten sie Urin ab, der mit einem 5 Liter Plastikmessbecher aufgefangen wurde. Der pH-Wert wurde sofort im frisch aufgefangenen Urin gemessen, um Veränderungen durch die Temperatur und den Luftkontakt möglichst gering zu halten.

Regelmäßig wurde auch der Kot-pH-Wert der Tiere überprüft, um eine Blinddarmazidose feststellen zu können. Bei einem Absinken des Kot-pH-Werts unter 6,0 wäre der Versuch sofort abgebrochen worden; ebenso, wenn eines der Tiere Anzeichen für eine Hufrehe oder einen schlechten Allgemeinzustand gezeigt hätte.

Täglich wurde das Allgemeinbefinden der Versuchstiere überprüft, während der kraftfutterreichen Rationen schloss sich daran auch eine Kontrolle der Mittelfußarterien und der Hufwandtemperaturen an.

3.5.2 Bilanzphase

Während der 3-tägigen Bilanzphase wurden die Tiere auf einer kleineren, mit Gummimatten ausgelegten Paddockfläche gehalten, um Kot und Urin quantitativ sammeln zu können. So konnte der gesamte Kot in Abständen von 2 bis 4 Stunden abgesammelt werden. Der Kot der Ponys wurde über 24 Stunden in verschließbaren Plastikboxen mit einem Fassungsvermögen von 31,2 l gelagert. Die Tagesmenge pro Pferd wurde gewogen und gemischt. Bei den heurreichen Rationen wurde ein Aliquot von 5% entnommen. Bei den haferreichen Versuchen wurde wegen der wesentlich geringeren ausgeschiedenen Kotmengen ein Aliquot von 10 % entnommen. Alle 4 bis 6 Stunden wurden die Pferde in die Boxen gelassen, damit sie Urin absetzen konnten. Dieser konnte sowohl bei den Wallachen als auch bei den Stuten immer vollständig aufgefangen werden. Jedes Pony setzte 3 bis 5 Mal pro Tag Urin ab, wobei der pH-Wert immer sofort bestimmt wurde. Die Urinproben wurden jeweils über 24 Stunden in geschlossenen Plastikkanistern mit einem Fassungsvermögen von 10 l gesammelt. Das Gesamtvolumen und das Gesamtgewicht des Harns von jedem Pony wurden täglich bestimmt. Danach wurde nach guter Durchmischung des Urins unter ständigem Rühren ein Aliquot von jeweils 1% entnommen.

Am ersten Tag der Bilanzphase wurde bei jedem Pony arterielles Blut präprandial und zwei Stunden postprandial zur Blutgasanalyse entnommen. Die Blutabnahme erfolgte an der rechten Arteria carotis externa. Vor der Blutabnahme wurde die Körpertemperatur der Ponys rektal gemessen. Im Versuch Heu/118 war bei den Stuten Sissi und Bukra die erste Blutabnahme nicht möglich.

3.5.3 „Washout-Phase“

Nach jeder Versuchsphase hatten die Versuchsp Ponys eine „Washout-Phase“ von mindestens 7 Tagen. In dieser Zeit hatten sie auch stundenweise Weidengang. Die Fütterung bestand in diesem Zeitraum aus der gewohnten Heu-/Hafer ration, die sie auch vor Versuchsbeginn bekamen, allerdings ohne Mineralfutterzusatz.

3.6 Probenvorbereitung

- **Futterproben**

Heu und Hafer wurden bei 103°C getrocknet, anschließend mit der Mühle ZM 100 (Fa. Retsch, Haan) zu einer Partikelgröße von 0,5 mm gemahlen und bis zur weiteren Untersuchung in verschließbaren Plastikbehältern trocken gelagert.

- **Blutproben**

Um Veränderungen durch Temperatur und Luftsauerstoff möglichst gering zu halten, erfolgte die Blutgasanalyse unmittelbar nach der Blutabnahme.

- **Kotproben**

Die gewonnenen Kotproben wurden analog zu den Futterproben getrocknet, gemahlen und gelagert. Zur Analyse wurden sie zu Sammelproben für jedes Pony über die jeweiligen Bilanzphasen zusammengefügt.

Für die Analyse von Na, K, Ca, Mg und P musste der Kot durch eine Mikrowellenveraschung in der Mikrowelle MLS-Ethos 1600 (MLS GmbH, Leutkirch) vollständig in Lösung gebracht werden.

Das Prinzip dieses Verfahrens besteht darin, die Proben durch Kochen bei hohen Temperaturen in konzentrierter Salpetersäure unter Druck aufzuschließen und in Lösung zu bringen. Dazu wurde eine Probenmenge von 0,5-1 g in Quarzgläschen eingewogen und 5 ml Salpetersäure (Rotipuran® 65%ig, Artikelnr. 4989.2, Roth, Karlsruhe) hinzugegeben. Die Quarzgläschen wurden in Teflontiegel eingesetzt, in die je 5 ml Reinstwasser und 1ml Wasserstoffperoxid (Rotipuran® 30%ig, Artikelnr. 9681.1, Roth, Karlsruhe) pipettiert wurden. Die Teflontiegel wurden dann in die Druckkammern aus Teflon eingesetzt, verschraubt und ins Mikrowellenrondell gestellt. Es folgte eine Kochphase von einer Stunde bei 170°C in der Mikrowelle. Es konnten pro Durchlauf zehn Proben aufgeschlossen werden. Nach einer Abkühlung von 30 min wurden die aufgeschlossenen Proben in Röhrchen gefüllt und mit Reinstwasser verdünnt.

- **Urinproben**

Die entnommenen Proben wurden in 100 ml Plastikbechern mit Schraubverschluss bei -24°C eingefroren. Zur weiteren Analyse wurde der Urin bei Zimmertemperatur aufgetaut, sorgfältig geschüttelt und zu Sammelproben

über 3 Tage gepoolt. Zur Bestimmung von Na, K, Ca, P und Mg wurde der Urin in der Mikrowelle verascht. Es wurde 1 ml Urin unter ständigem Rühren aus den Sammelproben entnommen und in die Quarzgläschen pipetiert. Ansonsten erfolgte die Veraschung des Harns analog zu den Kotproben.

3.7 Prüfparameter

- **Futter**

Calcium, Phosphor, Natrium, Kalium, Chlorid, Magnesium, Schwefel

- **Blut**

pH-Wert, pCO₂, pO₂, Natrium, Calcium, HCO₃⁻, Basenexzess im Blut, Basenexzess in der extrazellulären Flüssigkeit, O₂-Sättigung

- **Kot**

pH-Wert, Trockensubstanz, Calcium, Phosphor, Natrium, Kalium, Chlorid, Magnesium

- **Urin**

pH-Wert, Kreatinin, Calcium, Phosphor, Natrium, Kalium, Chlorid, Magnesium

3.8 Angewandte Untersuchungsmethoden

3.8.1 Futteranalyse

Der Gehalt an Ca, P, Mg, Na, K und Cl wurde im Labor des Lehrstuhls für Tierernährung und Diätetik der LMU-München bestimmt. Der Schwefelgehalt in den Futtermitteln wurde von der LUFA-ITL GmbH (Kiel, Deutschland) analysiert.

3.8.2 Blutgasanalyse

Zur Blutabnahme wurden nach sorgfältiger Desinfektion Kanülen der Größe 0,7 mm x 30 mm und heparinisierte Spritzen Rapidlyte 3ml L/S Syringe (Bayer Health Care, Leverkusen) verwendet. Für die Blutgasanalyse kam das Gerät Rapid Lab 348 (Fa. Siemens Diagnostics) zum Einsatz.

3.8.3 Analyse der Kotproben

- **Kot-pH-Wert**

Zur Bestimmung des Kot-pH-Werts wurde ein Teil frischer Kot (2-5 g) mit fünf Teilen destilliertem Wasser vermischt und anschließend der pH-Wert mit folgendem pH-Meter gemessen: pH 325 (WTW, Mess- und Analysegeräte GmbH, Wien) mit der pH-Elektrode SenTix 97/T (WTW Mess- und Analysegeräte GmbH, Wien).

- **Trockensubstanz**

Zur Bestimmung der Trockensubstanz wurde eine bestimmte Menge Kot in Aluschälchen eingewogen und bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank UT20 (Fabriknummer: 97102776, Heraeus Instruments, Hanau) bei 103°C getrocknet. Das Gewicht des getrockneten Kots wurde bestimmt und in Verhältnis zum Gewicht des ungetrockneten Kots gesetzt.

- **Chlorid**

2 g Kot wurden mit 20 ml Reinstwasser verdünnt und 3 h lang geschüttelt. Anschließend wurden die Proben 5 min lang bei 3000 Umdrehungen/min in der Zentrifuge 5810R (Eppendorf AG, Hamburg) zentrifugiert.

Aus dem flüssigen Überstand wurde die Chloridkonzentration nach dem Coulometrischen Verfahren durch Erzeugung von Silberionen am Chloridmeter 6610 (Eppendorf AG, Hamburg) gemessen. Das Chloridmeter funktioniert nach folgendem Prinzip: Es misst den Indikatorstrom zwischen zwei Silberelektroden. Die Höhe des Indikatorstroms ist proportional zu der Silberionenkonzentration in der Elektrolytlösung. Neuer Elektrolyt enthält keine Silberionen, so dass die Silberionenkonzentration und damit der Indikatorstrom auf einen bestimmten Sollwert gebracht werden. Die Silberionen entstehen durch Oxidation an der Generatorelektrode (Anode), die von konstantem Strom durchflossen wird. Die Silberionenkonzentration wird durch die Indikatorelektroden überprüft und konstant gehalten. Wird eine Probe mit Chloridionen dazugegeben, fällt unlösliches Silberchlorid aus und der Indikatorstrom sinkt. Dadurch wird die Freisetzung von Silberionen veranlasst, bis alle Chloridionen ausgefällt sind und die ursprüngliche Silberionenkonzentration wieder erreicht ist. Die Chloridionenkonzentration in der Probe wird dann in mmol/l angezeigt.

- **Phosphor**

Die Phosphormessung erfolgte mittels Spektralphotometrie. Dazu wurden 0,05 ml aus den veraschten Proben mit 1 ml Trichloressigsäure und 2 ml einer Molybdat-Vanadat-Lösung (Ammonium-Vanadat-Ammonium-Molybdat-Gemisch im Verhältnis 1:1) versetzt. Die Flüssigkeiten wurden mit einem Vortex Mixer (IKA-Werke GmbH & Co. KG, Staufen) homogenisiert und 10 min stehen gelassen. Ein Blindwert aus 1 ml Trichloressigsäure und 2 ml Molybdat-Vanadat-Lösung wurde hergestellt, um das Photometer auf eine Lichtdurchlässigkeit von 100% einzustellen. Die Messung der Proben erfolgte in Messküvetten (Plastikbrand® Einmalküvetten 2,5 ml PS, Katalognummer 759005, Brand, Wertheim). Die Bestandteile der Lösung bildeten mit Phosphorsäure einen orangegelb gefärbten Komplex, dessen Intensität der Phosphorsäuremenge entsprach. Diese Färbung wurde dann von dem Spektralphotometer GENESYS 10 UV (Thermo Spectronic, Rochester, NY, USA) als Extinktion bei einer Wellenlänge von 366 nm gemessen.

- **Natrium, Kalium und Calcium**

Die Bestimmung von Na, K und Ca erfolgte durch photometrisches Messen der Flammenfärbung mit dem Eppendorf Flammenphotometer EFOX 5053 (Eppendorf AG, Hamburg). Dazu wurde 0,5-1 ml Veraschungslösung in 1,5 ml Eppendorfcups pipettiert. Die Proben mussten teilweise vor der Messung 1:1 mit Reinstwasser verdünnt werden. Das Flammenphotometer saugt die Lösung an und verteilt sie durch den Zerstäuber mittels Druckluft. Dieses Aerosol wird mit Brenngas (Acetylen) gemischt und in die Flamme injiziert. Durch die Anregung von Atomen leuchtet die Flamme auf. Je mehr Atome vorhanden sind, desto mehr Licht wird ausgestrahlt, so dass durch die Messung der Lichtintensität auf die Konzentration des jeweiligen Elements in der Probe geschlossen werden kann. Jedes Element erzeugt in der Flamme eine charakteristische Farbe mit einer bestimmten Wellenlänge. Durch einen dazwischen geschalteten Filter lässt sich für jedes Element eine bestimmte Wellenlänge selektieren. Das durch den Filter einfallende Licht kann dann photometrisch gemessen werden.

- **Magnesium**

Elemente zeigen typische Absorptionslinien im elektromagnetischen Spektrum. In der Atomabsorptionsspektroskopie wird der ultraviolette oder sichtbare Bereich verwendet. Atomisiert werden die Atome hierbei durch eine Flamme, in welche die zu analysierende Lösung hineinzerstäubt wird. Hinter der Flamme wird gemessen, wie viel des eingestrahlt Lichts einer bestimmten Wellenlänge durch die zu messenden Elemente absorbiert wird.

Für die Magnesiumbestimmung mussten die veraschten Proben 1:10000 mit Reinstwasser verdünnt werden. Aus einer Standardlösung (Magnesiumnitrat in Salpetersäure 0,5 mol/l, Bestellnummer: 1.19788.0100, Merck, Darmstadt) wurden durch Verdünnen mit destilliertem Wasser drei Eichlösungen steigender Konzentration hergestellt - entsprechend dem optimalen Messbereich des Atomabsorptions-Spektralphotometers. Sowohl bei den Eichlösungen als auch bei den gelösten Proben wurde mit dem ASS Atomabsorptions-Spektrometer AAnalyst 800 (Seriennr. 90454040301, Perkin Elmer, Waltham, Massachusetts, USA) mittels Atomabsorptions-Spektralphotometrie der Magnesiumgehalt bei einer Wellenlänge von 285,2 nm in der Flamme gemessen. Der Magnesiumgehalt der Proben wurde mit Hilfe der Eichlösungen berechnet.

3.8.4 Analyse der Urinproben

- **pH-Wert**

Der pH-Wert wurde im frischen Urin gemessen. Dazu wurde ein elektronisches pH-Meter pH 325 (WTW, Mess- und Analysegeräte GmbH, Wien) mit der pH-Elektrode SenTix 97/T (WTW Mess- und Analysegeräte GmbH, Wien) verwendet. Das pH-Messgerät wurde vor jeder Messung im pH-Bereich von 4 bis 7 geeicht.

- **Kreatinin**

Der Nachweis von Kreatinin erfolgt durch Bildung eines gelben Farbkomplexes bei der Reaktion von alkalischer Pikrinsäure mit Kreatinin. Dabei ist die bei 490 nm gemessene Farbintensität direkt linear proportional zur Kreatininkonzentration in der Probe. Zur Probenanalyse wurde ein Kreati-

nin-Assay der Firma Quidel, Heidelberg (Artikelnr. 8009) verwendet. Eine Mikrotiterplatte wurde mit den Urinproben belegt und mit einer Research® Mehrkanalpipette (Eppendorf, Hamburg) auf 1:40 in zwei Schritten verdünnt. Anschließend wurde die 0,14%-ige Pikrinsäure aufgetragen. Nach einer Inkubationszeit von 30 min wurde die Mikrotiterplatte bei 490 nm in einem Assay-Reader (Tecan® Microplate Reader Sunrise, Seriennummer: 03930005142, Fa. Tecan GmbH, Crailsheim) gemessen.

- **Chlorid**

Die Chloridbestimmung im Urin erfolgte analog zum Kot, jedoch wurde eine Probenmenge von 50 µl direkt aus den Urinsammelproben entnommen.

- **Phosphor, Natrium, Kalium und Calcium**

Die Messung erfolgte analog zu den Kotproben.

- **Magnesium**

Die Magnesiumbestimmung entsprach den Kotproben, nur wurden hier die Proben 1:5000 verdünnt.

3.9 Berechnungen

3.9.1 Berechnung der scheinbaren Verdaulichkeit

Die scheinbare Verdaulichkeit der Mengenelemente wurde mit folgender Formel berechnet:

$$sV [\%] = \frac{\text{Nährstoff im Futter (g)} - \text{Nährstoff im Kot (g)}}{\text{Nährstoff im Futter (g)}} \times 100$$

3.9.2 Berechnung der wahren Verdaulichkeit

$$wV [\%] = \frac{\text{Nährstoff im Futter (g)} - [\text{Nährstoff im Kot (g)} - \text{endogene Verluste (g)}]}{\text{Nährstoff im Futter (g)}} \times 100$$

3.9.3 Berechnung des Harnvolumens

Zusätzlich zum tatsächlich aufgefangenen Urin wurde das Harnvolumen der Ponys noch mit folgenden Formeln berechnet:

- **Nach MEYER und STADERMANN (1990)**

$$\text{Harnvolumen} \left[\frac{\text{ml}}{100\text{kg KM} \times h} \right] = 24,3 + \frac{14067}{\text{Kreatininkonzentration im Harn [mg/dl]}}$$

- **Nach VOM STEIN (1985)**

$$\text{Harnvolumen} \left[\frac{\text{ml}}{100\text{kg KM} \times h} \right] = -7,4 + \frac{13502}{\text{Kreatininkonzentration im Harn [mg/dl]}}$$

3.10 Statistische Methoden

Die Ergebnisse in den Tabellen wurden als Mittelwert mit Standardabweichung angegeben (MW ± STAB).

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SigmaStat (Version 3.0, Systat Software Inc., Richmond, CA, USA).

Folgende Tests wurden angewandt:

- t-Test nach Student: Signifikante Differenzen werden in den Tabellen mit *(p<0,05), **(p<0,01) und ***(p<0,001) gekennzeichnet
- Mann-Whitney Rangsummentest: Signifikante Differenzen werden in den Tabellen mit +(p<0,05), ++(p<0,01) und +++(p<0,001) gekennzeichnet
- Einfaktorielle rangorientierte Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis: Signifikant (p<0,05) differierende Mittelwerte werden in den Tabellen mit unterschiedlichen Buchstaben überschrieben
- Zweifaktorielle Varianzanalyse mit der Holm-Sidak Methode
- Regressions- und Korrelationsberechnungen zur Darstellung der Wechselbeziehung zweier Parameter

4. Ergebnisse

4.1 Klinische Beobachtungen

Die Pferde zeigten während der gesamten Versuchsdauer ein ungestörtes Allgemeinbefinden. Es konnten zu keiner Zeit Anzeichen für eine Hufrehe festgestellt werden. Der Kot war stets von fester Konsistenz und gut geformt.

4.2 Kot-pH-Werte

In der Tab. 11 sind die mittleren Kot-pH-Werte aller Ponys in den einzelnen Fütterungsversuchen aufgeführt. Des Weiteren sind die Anzahl der Messungen (n), die minimalen und die maximalen Werte dargestellt. Von jedem Pony lagen pro Versuch mindestens zwei Werte vor.

Im Versuch Heu I lagen die Werte zwischen 6,40 und 7,25. Die Kot-pH-Werte im Versuch Heu II lagen in einem Bereich von 6,00 bis 6,99. In dem Heuver- such III gab es Messergebnisse von 6,28 bis 6,95. Die Werte im Haferversuch I lagen zwischen 6,30 und 7,03, im Haferversuch II zwischen 6,00 und 6,79.

Tab. 11: Mittlere Kot-pH-Werte aller Ponys, Anzahl der Messungen pro Versuch (n), minimale und maximale Werte

Ration	Ø Kot-pH-Wert	n	Minimum	Maximum
Heu I/86	6,76 ± 0,22	15	6,40	7,14
Heu I/214	6,88 ± 0,20	12	6,61	7,25
Heu II/-106	6,40 ± 0,26	11	6,00	6,99
Heu II/170	6,48 ± 0,19	9	6,22	6,80
Heu III /-112	6,53 ± 0,13	9	6,28	6,72
Heu III/186	6,64 ± 0,18	8	6,38	6,95
Hafer I/-22	6,54 ± 0,07	10	6,30	6,51
Hafer I/233	6,67 ± 0,21	8	6,40	7,03
Hafer II/-85	6,44 ± 0,28	8	6,00	6,79
Hafer II/214	6,62 ± 0,13	8	6,41	6,78

4.3 Futteraufnahme und -akzeptanz

Die Versuchsrationen wurden vollständig aufgenommen. Bei den Versuchen Hafer I und II wurden die großen Hafermengen über den ganzen Tag verteilt aufgenommen. Nur das Pony Bukra fraß den Hafer direkt nach der Fütterung vollständig auf. Alle Ponys fraßen bei den Haferrationen zuerst das Heu und dann den Hafer. Bei den Heurationen wurde stets zuerst der Hafer gefressen, nur das Pony Sissi fraß Heu und Hafer im Wechsel. Bei den Haferrationen fiel außerdem auf, dass die Pferde versuchten das Holz von ihren Paddockbegrenzungen zu fressen und vermehrt Unruhe zeigten.

Die orale Verabreichung der jeweiligen Mineralmischung wurde ausnahmslos toleriert.

Die tägliche Aufnahme an Trockensubstanz lag durchschnittlich zwischen 2,79 und 3,96 kg bzw. zwischen 0,95 und 1,37 kg/100 kg KG (Tab. 12).

Tab. 12: Tägliche TS-Aufnahme der Versuchstiere

Ration	TS-Aufnahme [kg/d]	TS-Aufnahme [kg /100kg KG/d]
Heu I/86	3,89 ± 0,37	1,33 ± 0,15
Heu I/214	3,86 ± 0,37	1,31 ± 0,14
Heu II/-106	4,03 ± 0,38	1,37 ± 0,15
Heu II/170	3,96 ± 0,38	1,35 ± 0,15
Heu III /-112	3,33 ± 0,54	1,12 ± 0,07
Heu III/186	3,27 ± 0,53	1,10 ± 0,07
Hafer I/-22	3,26 ± 0,31	1,11 ± 0,12
Hafer I/233	3,24 ± 0,31	1,10 ± 1,12
Hafer II/-85	2,81 ± 0,27	0,96 ± 0,11
Hafer II/214	2,79 ± 0,27	0,95 ± 0,10

4.4 Harnvolumen

Während den Bilanzphasen wurde der ausgeschiedene Urin vollständig aufgefangen. Zusätzlich zum gesammelten Urin wurde das Harnvolumen über die Kreatininkonzentration im Harn mit zwei verschiedenen Formeln berechnet. In der Tab. 13 ist sowohl das tatsächliche Harnvolumen der einzelnen Ponys als auch das berechnete über jeweils drei Tage dargestellt.

Tab. 13: Harnmenge [l] berechnet anhand der Kreatininkonzentration im Harn im Vergleich mit dem tatsächlichen Harnvolumen der einzelnen Ponys in drei Tagen

Ration	Pony	Berechnet nach MEYER und STADERMANN (1990)	Berechnet nach VOM STEIN (1985)	Tatsächliches Harnvolumen
Heu I/214	Bu	33,17	23,14	18,12
	Ta	23,48	16,32	11,76
	Si	15,79	9,16	7,53
	Gh	14,74	8,62	8,38
Heu I/86	Bu	28,40	18,57	14,82
	Ta	24,99	17,77	14,09
	Si	15,89	9,26	8,64
	Gh	14,32	8,21	8,64
Heu III/186	Bu	27,92	29,28	17,38
	Ta	16,88	13,72	9,24
	Si	15,75	11,99	8,34
	Gh	15,50	10,70	9,51
Heu III/-112	Bu	33,25	22,99	19,64
	Ta	24,04	16,89	11,73
	Si	15,53	17,64	8,50
	Gh	14,66	9,56	8,40
Hafer I/233	Bu	39,56	12,04	33,50
	Ta	20,77	14,30	14,73
	Si	18,73	6,16	10,59
	Gh	16,90	7,02	8,75
Hafer I/-22	Bu	33,01	20,12	15,89
	Ta	24,08	14,07	11,94
	Si	24,63	9,03	14,00
	Gh	15,72	5,16	12,58
Hafer II/214	Bu	21,61	18,11	19,98
	Ta	21,38	9,98	6,62
	Si	12,67	9,12	6,38
	Gh	13,08	9,35	6,14
Hafer II/-85	Bu	30,02	23,22	21,69
	Ta	21,14	16,86	9,75
	Si	15,66	8,91	9,49
	Gh	11,14	8,54	6,57

4.5 Harn-pH-Werte

4.5.1 Harn-pH-Werte während der Heuversuche

Im Folgenden sind die durchschnittlichen Harn-pH-Werte jedes Ponys während der einzelnen Bilanztage in den Versuchen Heu I, Heu II und Heu III dargestellt (Tab. 14-16).

Tab. 14: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Heu I

Pony	Bilanztag	Ø Harn-pH Heu I/214 (Kontrolle)	Ø Harn-pH Heu I/86 (Versuch)
Bukra	1	7,05	7,11
	2	7,04	6,96
	3	7,16	7,00
Tarabas	1	7,18	7,20
	2	7,19	7,04
	3	6,99	7,02
Sissi	1	7,62	7,33
	2	7,48	7,23
	3	7,03	7,14
Gharib	1	7,31	7,06
	2	7,10	7,01
	3	7,27	7,15

Tab. 15: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Heu II

Pony	Bilanztag	Ø Harn-pH Heu II/170 (Kontrolle)	Ø Harn-pH Heu II/-106 (Versuch)
Bukra	1	7,32	6,97
	2	7,27	6,92
	3	7,48	6,91
Tarabas	1	7,39	7,39
	2	7,48	7,15
	3	7,55	7,21
Sissi	1	7,53	7,34
	2	7,59	7,26
	3	7,76	7,33
Gharib	1	7,39	7,24
	2	7,83	6,55
	3	7,90	7,25

Tab. 16: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Heu III

Pony	Bilanztag	Ø Harn-pH Heu III/186 (Kontrolle)	Ø Harn-pH Heu III/-112 (Versuch)
Bukra	1	7,16	6,90
	2	7,24	6,89
	3	7,16	6,90
Tarabas	1	7,54	7,23
	2	7,17	7,37
	3	7,22	7,14
Sissi	1	7,59	7,55
	2	7,65	7,48
	3	7,64	6,58
Gharib	1	7,46	7,37
	2	7,33	7,21
	3	7,32	6,85

4.5.2 Harn-pH-Werte während der Haferversuche

Im Folgenden sind die durchschnittlichen Harn-pH-Werte während der einzelnen Bilanztage in den Versuchen Hafer I (Tab. 17) und Hafer II (Tab. 18) dargestellt.

Tab. 17: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Hafer I

Pony	Bilanztag	Ø Harn-pH Hafer I/233 (Kontrolle)	Ø Harn-pH Hafer I/-22 (Versuch)
Bukra	1	7,22	6,61
	2	7,27	6,76
	3	7,18	6,31
Tarabas	1	7,16	6,52
	2	7,23	6,43
	3	7,20	6,79
Sissi	1	7,48	6,45
	2	7,30	6,51
	3	7,35	6,37
Gharib	1	7,33	6,57
	2	7,29	6,50
	3	7,19	6,40

Tab. 18: Mittlere Harn-pH-Werte im Versuch Hafer II

Pony	Bilanztag	Ø Harn-pH Hafer II/214 (Kontrolle)	Ø Harn-pH Hafer II/-85 (Versuch)
Bukra	1	7,18	6,19
	2	7,32	6,37
	3	7,21	6,13
Tarabas	1	7,56	5,83
	2	7,52	5,15
	3	7,39	5,71
Sissi	1	7,41	6,12
	2	7,33	5,89
	3	6,99	5,51
Gharib	1	7,51	5,40
	2	7,51	5,85
	3	7,20	5,54

4.5.3 Harn-pH-Werte in Abhängigkeit von der AKB in der Ration

Mit der Haferration II gelang die Absenkung des mittleren Harn-pH-Werts der Bilanzphasen bis 5,81 bei einer AKB von -85. In den Heuversuchen sanken die Werte nicht unter 7,10 (Tab. 19).

Eine zweifaktorielle Varianzanalyse der mittleren Harn-pH-Werte der einzelnen Ponys über die drei Bilanztage (Faktor 1 = Pony, Faktor 2 = Ration) ergab keinen statistisch signifikanten Einfluss der einzelnen Ponys.

Tab. 19: Mittlere Harn-pH-Werte in den einzelnen Versuchen während der Bilanz

Ration		Rationstyp	AKB	Harn-pH
Heu I/214	Kontrolle	Heulastig	214	7,20 ± 0,19
Heu I/86	Versuch	Heulastig	86	7,10 ± 0,11
Heu II/170	Kontrolle	Heulastig	170	7,54 ± 0,20
Heu II/-106	Versuch	Heulastig	-106	7,13* ± 0,24
Heu III/186	Kontrolle	Heulastig	186	7,37 ± 0,19
Heu III /-112	Versuch	Heulastig	-112	7,12 ± 0,30
Hafer I/233	Kontrolle	Haferlastig	233	7,27 ± 0,09
Hafer I/-22	Versuch	Haferlastig	-22	6,52*** ± 0,15
Hafer II/214	Kontrolle	Haferlastig	214	7,34 ± 0,17
Hafer II/-85	Versuch	Haferlastig	-85	5,81*** ± 0,36

* signifikante Differenz zur Kontrolle im t-Test ($p < 0,05$)

*** signifikante Differenz zur Kontrolle im t-Test ($p < 0,001$)

Die Beziehung des pH-Wertes im Urin zur AKB im Futter ist in der Abb. 5 für Heu und in der Abb. 6 für Hafer dargestellt.

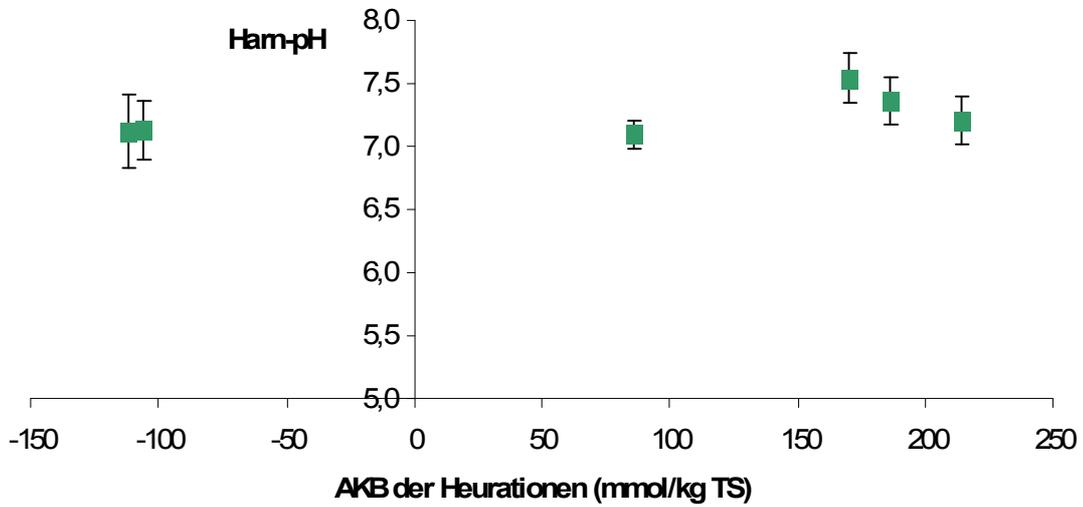


Abb. 5: Beziehung des mittleren Harn-pH-Wertes zur AKB in den Heurationen

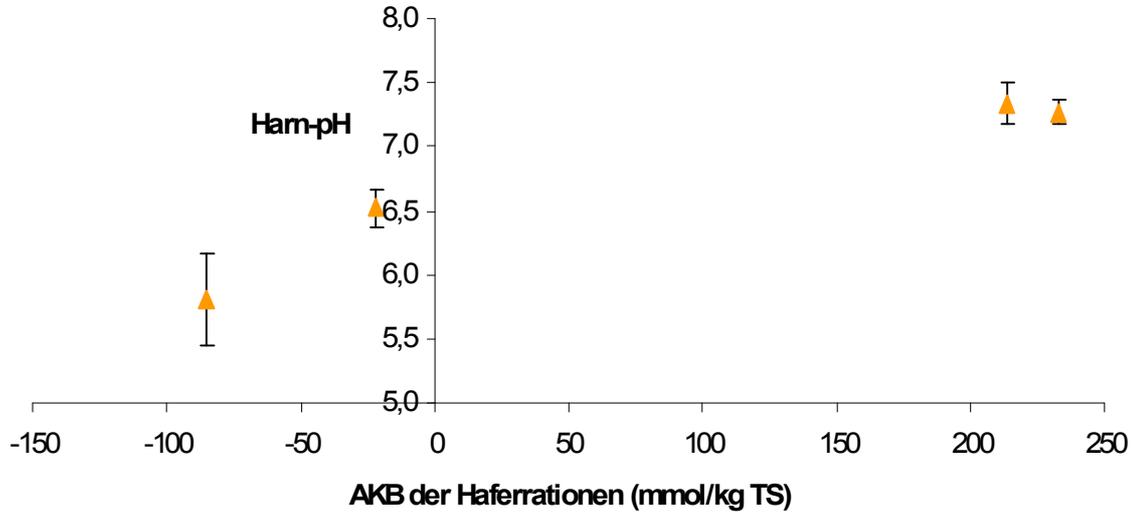


Abb. 6: Beziehung des mittleren Harn-pH-Wertes zur AKB in den Haferrationen

4.6 Blutgasanalysen

4.6.1 Blut-pH-Wert

In der Tab. 20 und der Abb. 7 ist der pH-Wert des Bluts präprandial und 2 h postprandial dargestellt. Bei allen Versuchs- und Kontrollrationen sank der pH-Wert des Bluts postprandial. Die niedrigsten Werte wiesen die Ponys in den Versuchen Heu II/-106 und Heu III/-112 auf. Die Werte lagen präprandial zwischen 7,42 und 7,45 und postprandial zwischen 7,36 und 7,41.

Tab. 20: Mittlere Blut-pH-Werte präprandial und 2 h postprandial

Versuchsration	Blut-pH	Blut-pH	Kontrollration	Blut-pH	Blut-pH
	präpr.	postpr.		präpr.	postpr.
Heu I/86	7,44 ± 0,03	7,41 ± 0,01	Heu I/214	7,42 ± 0,04	7,39 ± 0,00
Heu II/-106	7,43 ± 0,02	7,37* ± 0,03	Heu II/170	7,44 ± 0,02	7,39 ± 0,01
Heu III /-112	7,42 ± 0,04	7,36 ⁺ * ± 0,01	Heu III/186	7,45 ± 0,01	7,41 ± 0,03
Hafer I/-22	7,43 ± 0,01	7,39* ± 0,02	Hafer I/233	7,43 ± 0,01	7,40* ± 0,02
Hafer II/-85	7,42 ± 0,01	7,41 ± 0,02	Hafer II/214	7,44 ± 0,01	7,42 ± 0,02

* signifikante Differenz zum präprandialen Wert im t-Test ($p < 0,05$)

⁺ signifikante Differenz zur Kontrolle (postprandial) im Mann-Whitney Rangsummen Test ($p < 0,05$)

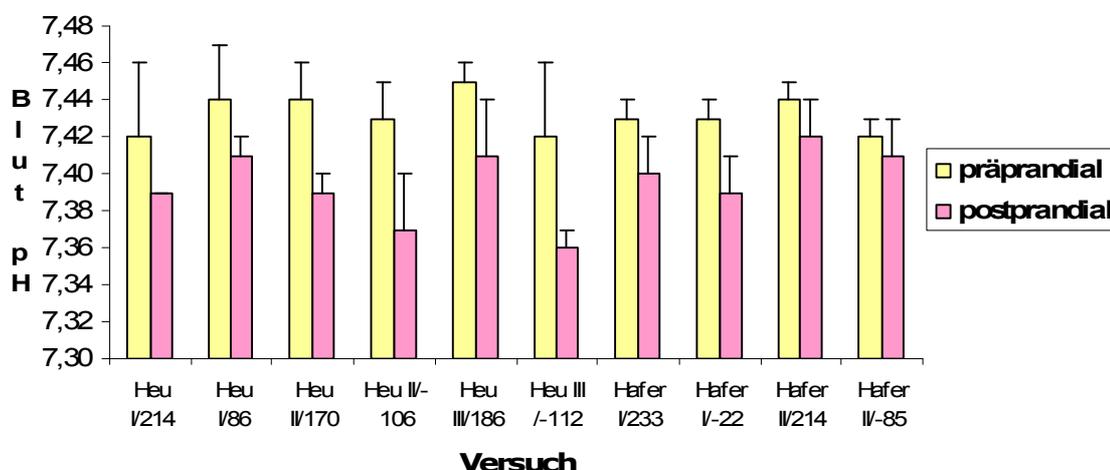


Abb. 7: Mittlere Blut-pH-Werte in den einzelnen Versuchen vor und 2 h nach der Fütterung

Die Abbildung 8 veranschaulicht die Beziehung der postprandialen Blut-pH-Werte zu der AKB in der Ration.

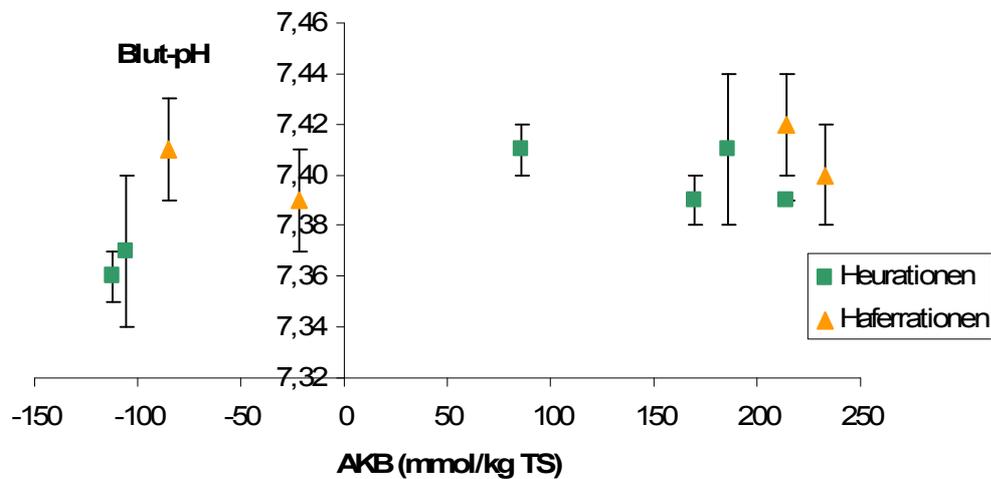


Abb. 8: Mittlerer arterieller Blut-pH-Wert 2 h postprandial in Beziehung zur AKB der Ration

4.6.2 Aktuelle Bikarbonatkonzentration

In allen Versuchen war die Bikarbonatkonzentration bei der Blutabnahme zwei Stunden nach der Fütterung niedriger als vor der Fütterung. Die niedrigsten Bikarbonatkonzentrationen wiesen die Versuchstiere in den Versuchen Heu II/-106 und Heu III/-112 auf (Tab. 21). Präprandial lagen die Bikarbonatkonzentrationen im arteriellen Blut in einem Bereich von 29,75 bis 31,45 mmol/l; postprandial zwischen 25,33 und 29,08 mmol/l.

Tab. 21: Mittlere Bikarbonatkonzentration [mmol/l] im Blut vor und 2 h nach der Fütterung

Versuchsration	HCO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Kontrollration	HCO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
	präpr.	postpr.		präpr.	postpr.
Heu I/86	30,60 ± 3,35	27,60 ± 1,87	Heu I/214	30,13 ± 2,06	27,07 ± 1,79
Heu II/-106	30,43 ± 1,94	25,55* ± 1,40	Heu II/170	31,45 ± 1,96	26,20* ± 2,43
Heu III /-112	29,75 ± 2,94	25,33* ± 2,10	Heu III/186	30,60 ± 2,26	27,50 ± 2,16
Hafer I/-22	30,05 ± 2,02	27,93 ± 2,18	Hafer I/233	30,15 ± 2,86	27,25 ± 2,19
Hafer II/-85	29,85 ± 2,78	27,08 ± 1,58	Hafer II/214	30,50 ± 2,41	29,08 ± 1,59

* signifikante Differenz zum präprandialen Wert im t-Test ($p < 0,05$)

4.6.3 Basenexzess

Sowohl der Basenexzess im Blut (Tab. 22) als auch in der interstitiellen Flüssigkeit (Tab. 23) war 2 h postprandial niedriger als präprandial. Entsprechend der HCO₃⁻-Konzentration und dem Blut-pH-Wert war der BE sowohl präprandial als auch postprandial in den Versuchsrationen Heu II und III am niedrigsten.

Tab. 22: BE [mmol/l] im Blut vor und 2 h nach der Fütterung

Versuchsration	BE b	BE b	Kontrollration	BE b	BE b
	präpr.	postpr.		präpr.	postpr.
Heu I/86	5,53 ± 3,29	2,4 ± 1,45	Heu I/214	4,60 ± 1,35	1,73 ± 1,50
Heu II/-106	5,13 ± 1,43	0,13** ± 1,59	Heu II/170	6,28 ± 1,74	1,65** ± 1,03
Heu III /-112	4,53 ± 3,12	-0,28* ± 1,78	Heu III/186	5,7 ± 2,08	2,45* ± 1,61
Hafer I/-22	5,05 ± 1,9	2,5 ± 1,94	Hafer I/233	5,05 ± 2,23	2,15 ± 1,95
Hafer II/-85	4,53 ± 2,42	2,13 ± 1,21	Hafer II/214	5,48 ± 1,76	3,93 ± 1,36

* signifikante Differenz zum präprandialen Wert im t-Test ($p < 0,05$)

** signifikante Differenz zum präprandialen Wert im t-Test ($p < 0,01$)

Tab. 23: BE in der interstitiellen Flüssigkeit [mmol/l] vor und 2 h nach der Fütterung

Versuchsration	BE efc	BE efc	Kontrollration	BE efc	BE efc
	präpr.	postpr.		präpr.	postpr.
Heu I/86	6,47 ± 3,80	3,00 ± 1,87	Heu I/214	5,60 ± 1,91	2,20 ± 1,82
Heu II/-106	6,10 ± 1,85	0,40** ± 1,68	Heu II/170	7,35 ± 2,09	1,75** ± 1,79
Heu III /-112	5,38 ± 3,46	0,05* ± 2,12	Heu III/186	6,60 ± 2,48	2,93 ± 2,08
Hafer I/-22	5,90 ± 2,21	3,18 ± 2,33	Hafer I/233	5,95 ± 2,83	2,60 ± 2,36
Hafer II/-85	5,40 ± 2,91	2,50 ± 1,56	Hafer II/214	6,35 ± 2,32	4,05 ± 2,69

* signifikante Differenz zum präprandialen Wert im t-Test ($p < 0,05$)

** signifikante Differenz zum präprandialen Wert im t-Test ($p < 0,01$)

4.6.4 Calcium

In der Tab. 24 ist der Calciumgehalt im Blut vor und 2 h nach der Fütterung dargestellt. Präprandial lagen die Werte zwischen 1,59 und 1,72 mmol/l. Postprandial lagen sie zwischen 1,65 und 1,80 mmol/l. Mit Ausnahme der Versuche Heu I/214 und Heu III/-112 waren die Calciumwerte postprandial höher als präprandial.

Tab. 24: Mittlerer Calciumgehalt [mmol/l] im arteriellen Blut vor und 2 h nach der Fütterung

Ration	Ca präprandial	Ca postprandial
Heu I/214	1,68 ± 0,07	1,65 ± 0,15
Heu I/86	1,68 ± 0,03	1,77 ± 0,13
Heu II/170	1,61 ± 0,03	1,76 ± 0,14
Heu II/-106	1,59 ± 0,13	1,65 ± 0,11
Heu III/186	1,65 ± 0,06	1,80* ± 0,06
Heu III /-112	1,68 ± 0,08	1,66 ± 0,16
Hafer I/233	1,60 ± 0,05	1,72* ± 0,04
Hafer I/-22	1,64 ± 0,12	1,80 ± 0,09
Hafer II/214	1,72 ± 0,05	1,71 ± 0,14
Hafer II/-85	1,72 ± 0,05	1,79 ± 0,07

* signifikante Differenz zum präprandialen Wert im t-Test ($p < 0,05$)

4.6.5 Kohlenstoffdioxid-Partialdruck und Natrium

In der Tab. 25 sind der mittlere Kohlenstoffdioxidpartialdruck und die durchschnittliche Natriumkonzentration aller Versuche vor der Fütterung und 2 h nach der Fütterung dargestellt.

Tab. 25: Kohlenstoffdioxid-Partialdruck [mmHg] und Natrium [mmol/l] vor und 2 h nach der Fütterung im arteriellen Blut

Ration	pCO ₂		Natrium	
	präprandial	postprandial	präprandial	postprandial
Heu I/214	48,17 ± 6,13	46,10 ± 2,82	139,00 ± 1,73	139,00 ± 1,73
Heu I/86	45,77 ± 2,21	44,77 ± 3,65	139,00 ± 1,00	138,67 ± 0,58
Heu II/170	47,65 ± 2,54	42,70 ± 7,43	135,00 ± 2,94	133,75 ± 1,50
Heu II/-106	47,48 ± 4,06	45,53 ± 2,49	134,75 ± 2,06	137,50* ± 2,65
Heu III/186	45,53 ± 2,97	45,05 ± 5,90	134,00 ± 2,71	134,50 ± 2,52
Heu III /-112	46,65 ± 1,75	45,85 ± 2,55	134,75 ± 1,50	135,50 ± 2,38
Hafer I/233	46,63 ± 4,61	45,05 ± 2,85	137,75 ± 1,50	136,00 ± 1,41
Hafer I/-22	45,95 ± 1,92	47,18 ± 3,57	138,50 ± 1,29	136,25 ± 2,22
Hafer II/214	46,38 ± 4,33	46,63 ± 3,84	137,50 ± 1,00	137,25 ± 1,71
Hafer II/-85	47,35 ± 3,44	44,33 ± 3,69	137,50 ± 1,29	137,25 ± 1,89

* *signifikante Differenz zur Kontrolle im t-Test (p < 0,05)*

4.7 Verdauungs- und Bilanzversuche

4.7.1 Trockensubstanzausscheidung und Mineralstoffgehalt des Kots

In der Tabelle 26 sind die mittlere Trockensubstanzausscheidung und der mittlere Mineralstoffgehalt des Kots aufgeführt. Im Versuch Heu I/214 wurden die höchsten Mengen an Trockensubstanz ausgeschieden und im Versuch Hafer II/-85 die geringsten Mengen.

Tab. 26: Mittlere TS-Ausscheidung mit dem Kot und Mineralstoffgehalt des Kots

Ration	TS-Ausscheidung [kg/d]	Ca [g/kg]	P [g/kg]	Mg [g/kg]	Na [g/kg]	K [g/kg]	Cl [g/kg]
Heu I/214	1,99 ± 0,27	5,8 ± 0,9	7,6 ± 0,3	2,6 ± 0,3	2,3 ± 0,7	6,2 ± 0,6	0,5 ± 0,5
Heu I/86	1,85 ± 0,37	6,2 ± 0,9	7,2 ± 0,5	2,4 ± 0,3	2,3 ± 0,3	7,0 ± 1,0	0,4 ± 0,2
Heu III/186	1,42 ± 0,25	7,0 ± 1,4	8,7 ± 1,0	2,2 ± 0,3	4,2 ± 0,9	6,8 ± 0,9	0,3 ± 0,0
Heu III /-112	1,47 ± 0,20	6,1 ± 0,6	8,7 ± 1,8	2,2 ± 0,4	2,6 ± 1,2	7,4 ± 2,3	0,4 ± 0,2
Hafer I/233	1,30 ± 0,20	12,6 ± 2,9	9,5 ± 1,2	3,2 ± 0,6	3,9 ± 1,0	6,2 ± 1,6	0,3 ± 0,1
Hafer I/-22	1,37 ± 0,27	9,4 ± 1,1	9,3 ± 0,7	2,7 ± 0,2	2,7 ± 0,4	7,2 ± 1,6	0,3 ± 0,1
Hafer II/214	1,03 ± 0,21	13,3 ± 4,2	10,5 ± 0,6	4,1 ± 0,9	5,2 ± 1,3	4,3 ± 0,8	0,3 ± 0,2
Hafer II/-85	0,94 ± 0,24	9,9 ± 2,1	9,3 ± 1,3	3,3 ± 0,7	3,8 ± 0,4	5,6 ± 0,6	0,2 ± 0,1

4.7.2 Scheinbare Verdaulichkeiten

Die scheinbare Verdaulichkeit der TS war bei den Haferrationen höher als bei den Heurationen. Die scheinbare Ca-Verdaulichkeit war bei den Heurationen tendenziell etwas höher als bei den Haferversuchen. Die scheinbaren P-Verdaulichkeiten lagen fast alle im negativen Bereich und waren bei den Heurationen niedriger als bei den Haferrationen. Die Na-Verdaulichkeiten waren beim Hafer höher, bei den Heurationen fielen sie größtenteils negativ aus. Bei den Mg- und K-Verdaulichkeiten ließen sich keine Unterschiede zwischen den Heu- und Haferversuchen feststellen. Im Versuch Heu I war die mittlere Cl-Verdaulichkeit niedriger als in den anderen Versuchen (Tab. 27).

Tab. 27: Scheinbare Verdaulichkeiten [%] der Mineralstoffe und der Trockensubstanz

Ration	sV TS	sV Ca	sV P	sV Na	sV Mg	sV K	sV Cl
Heu I/214	48,5 ± 5,6	24,6 ± 11,2	-103,8 ± 8,3	-29,3 ± 38,5	14,1 ± 8,1	65,5 ± 3,6	94,0 ^a ± 5,9
Heu I/86	52,8 ± 6,5	25,9 ± 10,2	-78,3 ± 24,1	-18,0 ± 6,1	26,4 ± 1,3	64,1 ± 8,2	95,9 ^{ab} ± 1,3
Heu III/186	56,4 ± 6,1	16,9 ± 20,2	-57,2 ± 28,4	-18,0 ± 29,2	36,2 ± 10,0	75,0 ± 2,9	98,3 ^{abc} ± 0,2
Heu III /-112	55,3 ± 6,8	28,3 ± 9,3	-59,0 ± 48,1	23,4 ± 41,6	34,1 ± 18,4	72,8 ± 7,6	98,6 ^{bc} ± 0,9
Hafer I/233	60,0 ± 5,4	10,8 ± 30,0	-36,2 ± 31,8	20,1 ± 21,4	-6,7 ± 26,8	58,3 ± 14,9	97,7 ^{abc} ± 0,7
Hafer I/-22	58,2 ± 6,3	22,5 ± 9,5	-37,5 ± 5,7	21,9 ± 13,1	4,3 ± 9,6	50,3 ± 9,6	97,9 ^{abc} ± 0,4
Hafer II/214	63,2 ± 5,7	-3,0 ± 39,0	-18,6 ± 2,5	31,1 ± 20,9	29,9 ± 19,4	76,6 ± 3,9	98,4 ^{abc} ± 1,2
Hafer II/-85	66,6 ± 7,1	31,6 ± 12,7	5,3 ± 11,8	35,6 ± 14,9	46,3 ± 13,0	72,5 ± 5,5	99,1 ^c ± 0,3

Mittelwerte, die nicht mit dem gleichen Buchstaben überschrieben sind, unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$) in der einfaktoriellen Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis

4.7.3 Mineralstoffgehalt des Urins

In der Tab. 28 ist die mittlere Urinausscheidung in g/kg KM/d und in l/d aufgeführt. Des Weiteren sind die mittleren Mineralstoffgehalte im Urin dargestellt.

Tab. 28: Urinausscheidung und Mineralstoffgehalte des Urins

Ration	Harn [g/kg KM/d]	Harn [l/d]	Ca [g/l]	P [g/l]	Mg [g/l]	Na [g/l]	K [g/l]	Cl [g/l]
Heu I/214	12,63 ± 2,77	3,82 ± 1,60	4,38 ± 0,37	0,01 ± 0,02	1,26 ± 0,14	0,41 ± 0,15	9,08 ± 4,03	5,81 ± 1,24
Heu I/86	13,19 ± 2,54	3,85 ± 1,12	5,06 ± 1,94	0,02 ± 0,03	1,39 ± 0,67	0,64 ± 0,79	7,81 ± 1,74	5,93 ± 1,60
Heu III/186	12,44 ± 2,10	3,71 ± 1,40	2,80 ± 0,57	0,03 ± 0,06	0,87 ± 0,17	0,56 ± 0,43	9,72 ± 1,77	5,28 ± 1,05
Heu III /-112	13,51 ± 2,80	4,02 ± 1,76	2,74 ± 0,41	0,07 ± 0,15	0,87 ± 0,30	0,89 ± 0,46	9,33 ± 3,36	7,49 ± 1,06
Hafer I/233	17,90 ± 7,41	5,63 ± 3,78	1,82 ± 0,79	0,00 ± 0,00	0,62 ± 0,18	0,43 ± 0,39	3,30 ± 1,03	3,20 ± 0,89
Hafer I/-22	15,79 ± 1,98	4,53 ± 0,58	2,95 ± 0,41	0,07 ± 0,09	0,74 ± 0,09	0,37 ± 0,18	3,70 ± 1,52	3,72 ± 0,66
Hafer II/214	10,53 ± 4,41	3,26 ± 2,27	1,75 ± 0,18	0,14 ± 0,22	1,04 ± 0,20	0,82 ± 0,21	6,07 ± 2,06	4,93 ± 1,22
Hafer II/-85	12,86 ± 4,13	3,96 ± 2,23	2,27 ± 0,41	0,07 ± 0,10	0,87 ± 0,28	0,96 ± 0,34	5,11 ± 2,26	4,70 ± 1,69

4.7.4 Mineralstoffbilanzen

Im Folgenden sind die Mineralstoffbilanzen anhand des aufgefangenen Harnvolumens berechnet.

- **Calcium**

Die Ca-Bilanzen lagen in den Versuchsrationen zwischen -47,76 und -13,79 und in den Kontrollrationen zwischen -40,25 und -18,92 mg/kg KM/d (Tab. 29).

Tab. 29: Mittlere Ca-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]

Ration	Ca-Aufnahme	Ca-Abgabe		Ca-Bilanz
		Kot	Urin	
Heu I/214	55,83 ± 6,15	41,94 ± 6,29	54,13 ± 10,31	-40,25 ± 16,72
Heu I/86	55,83 ± 6,15	41,31 ± 6,50	62,28 ± 17,21	-47,76 ± 13,93
Heu III/186	45,67 ± 3,02	38,29 ± 10,92	34,05 ± 9,19	-26,68 ± 5,49
Heu III /-112	45,67 ± 3,02	32,78 ± 5,14	34,99 ± 3,01	-22,11 ± 2,87
Hafer I/233	67,77 ± 7,47	60,44 ± 20,96	29,25 ± 8,07	-21,91 ± 19,77
Hafer I/-22	60,52 ± 6,67	46,74 ± 6,18	44,83 ± 1,67	-31,05 ± 7,51
Hafer II/214	47,31 ± 5,22	48,16 ± 17,46	18,07 ± 8,83	-18,92 ± 21,26
Hafer II/-85	46,79 ± 5,16	32,16 ± 7,48	28,41 ± 9,69	-13,79 ± 9,99

- **Phosphor**

Die Tab. 30 zeigt die Aufnahme und Ausscheidung von Phosphor sowie die P-Bilanzen der einzelnen Versuche. Die P-Bilanzen der Haferversuche lagen zwischen -13,93 und 0,95, die der Heuversuche zwischen -28,12 und -17,51 mg/kg KM/d.

Tab. 30: Mittlere P-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]

Ration	P-Aufnahme	P-Abgabe		P-Bilanz
		Kot	Urin	
Heu I/214	27,08 ± 2,99	55,11 ± 5,24	0,09 ± 0,18	-28,12 ± 2,81
Heu I/86	27,08 ± 2,99	48,03 ± 6,29	0,16 ± 0,28	-21,11 ± 5,65
Heu III/186	29,59 ± 1,96	46,80 ± 10,83	0,30 ± 0,61	-17,51 ± 9,04
Heu III /-112	29,59 ± 1,96	47,54 ± 16,52	0,77 ± 1,54	-18,73 ± 16,02
Hafer I/233	33,62 ± 3,69	45,67 ± 11,30	0,00 ± 0,00	-12,05 ± 10,76
Hafer I/-22	33,62 ± 3,69	46,41 ± 6,81	1,14 ± 1,60	-13,93 ± 3,84
Hafer II/214	31,85 ± 3,51	37,77 ± 4,27	1,12 ± 1,72	-7,04 ± 1,80
Hafer II/-85	31,85 ± 3,51	30,16 ± 4,88	0,74 ± 1,22	0,95 ± 4,46

- **Magnesium**

Die Mg-Bilanzen lagen alle im negativen Bereich und schwankten zwischen -12,61 und -1,28 mg/kg KM/d. Die detaillierten Ergebnisse sind in der Tabelle 31 aufgeführt.

Tab. 31: Mittlere Mg-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]

Ration	Mg-Aufnahme	Mg- Abgabe		Mg-Bilanz
		Kot	Urin	
Heu I/214	21,81 ± 2,40	18,71 ± 2,49	15,71 ± 3,91	-12,61 ± 5,30
Heu I/86	21,81 ± 2,40	16,08 ± 1,95	17,09 ± 6,82	-11,35 ± 6,34
Heu III/186	18,26 ± 1,21	11,67 ± 2,11	10,51 ± 2,42	-3,92 ± 2,07
Heu III /-112	18,26 ± 1,21	12,06 ± 3,59	10,95 ± 2,47	-4,76 ± 3,00
Hafer I/233	14,16 ± 1,56	15,13 ± 4,13	9,99 ± 0,97	-10,97 ± 4,21
Hafer I/-22	14,16 ± 1,56	13,47 ± 1,18	11,46 ± 1,93	-10,76 ± 0,91
Hafer II/214	21,44 ± 2,36	14,93 ± 4,02	10,22 ± 3,26	-3,70 ± 5,09
Hafer II/-85	19,73 ± 2,17	10,63 ± 2,91	10,39 ± 2,54	-1,28 ± 2,37

- **Natrium**

Die Na-Bilanzen schwankten in einem Bereich zwischen -9,78 und 1,14 mg/kg KM/d (Tab. 32).

Tab. 32: Mittlere Na-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]

Ration	Na-Aufnahme	Na-Abgabe		Na-Bilanz
		Kot	Urin	
Heu I/214	13,01 ± 1,43	16,54 ± 3,91	4,84 ± 1,26	-8,37 ± 4,16
Heu I/86	13,01 ± 1,43	15,39 ± 2,16	7,40 ± 8,08	-9,78 ± 8,55
Heu III/186	18,95 ± 1,25	22,21 ± 4,82	6,37 ± 4,09	-9,63 ± 2,66
Heu III /-112	18,95 ± 1,25	14,86 ± 8,72	12,09 ± 8,09	-7,99 ± 6,69
Hafer I/233	23,14 ± 2,55	18,12 ± 3,01	6,91 ± 4,78	-1,89 ± 6,31
Hafer I/-22	17,52 ± 1,93	13,64 ± 2,47	5,61 ± 2,24	-1,73 ± 4,33
Hafer II/214	27,71 ± 3,05	18,87 ± 5,18	7,70 ± 1,17	1,14 ± 6,85
Hafer II/-85	19,28 ± 2,13	12,17 ± 1,44	11,26 ± 3,03	-4,16 ± 4,36

- **Kalium**

In der Tab. 33 sind die K-Aufnahmen, die K-Ausscheidungen über die Fäzes und den Harn sowie die K-Bilanzen aufgeführt. Die K-Bilanzen der Kontrollrationen lagen zwischen -19,15 und -4,48 mg/kg KM/d und die der Versuchsrationen zwischen -22,17 und -9,49 mg/kg KM/d.

Tab. 33: Mittlere K-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]

Ration	K-Aufnahme	K-Abgabe		K-Bilanz
		Kot	Urin	
Heu I/214	131,57 ± 14,51	45,62 ± 8,42	105,10 ± 29,64	-19,15 ± 25,56
Heu I/86	131,57 ± 14,51	46,41 ± 6,67	97,01 ± 5,08	-11,85 ± 14,14
Heu III/186	144,71 ± 9,57	36,25 ± 4,96	115,89 ± 12,27	-7,43 ± 10,75
Heu III /-112	144,71 ± 9,57	39,41 ± 11,14	115,43 ± 22,54	-10,12 ± 23,04
Hafer I/233	72,19 ± 7,96	29,87 ± 10,52	53,37 ± 12,66	-11,06 ± 25,15
Hafer I/-22	72,19 ± 7,96	36,13 ± 9,48	58,94 ± 29,30	-22,87 ± 30,72
Hafer II/214	66,79 ± 7,36	15,52 ± 2,50	55,74 ± 7,89	-4,48 ± 7,48
Hafer II/-85	66,79 ± 7,36	18,22 ± 3,22	58,06 ± 10,29	-9,49 ± 4,20

- **Chlorid**

Im Versuch Heu I waren die Cl-Bilanzen im negativen Bereich, bei allen anderen Versuchen lagen sie im positiven Bereich zwischen 7,28 und 54,47 mg/kg KM/d (Tab. 34).

Tab. 34: Mittlere Cl-Aufnahme, -Ausscheidung und -Bilanz [mg/kg KM/d]

Ration	Cl-Aufnahme	Cl-Abgabe		Cl-Bilanz
		Kot	Urin	
Heu I/214	65,87 ± 7,26	4,18 ± 4,48	70,10 ± 10,24	-8,41 ± 9,36
Heu I/86	70,61 ± 7,78	2,94 ± 1,11	74,16 ± 14,47	-6,49 ± 8,84
Heu III/186	79,37 ± 5,25	1,34 ± 0,14	63,26 ± 10,61	14,77 ± 9,79
Heu III /-112	152,38 ± 10,08	2,13 ± 1,59	95,78 ± 10,67	54,47 ± 16,07
Hafer I/233	62,88 ± 6,93	1,47 ± 0,45	52,16 ± 9,47	9,25 ± 15,80
Hafer I/-22	66,05 ± 7,28	1,40 ± 0,30	57,36 ± 12,63	7,28 ± 6,71
Hafer II/214	76,87 ± 8,48	1,21 ± 0,93	46,52 ± 6,81	29,14 ± 12,66
Hafer II/-85	82,56 ± 9,10	0,78 ± 0,25	54,82 ± 7,51	26,96 ± 11,45

5. Diskussion

5.1 Kritik der Methoden

5.1.1 Rationsgestaltung

Aufbauend auf den Ergebnissen von STÜRMER (2005) wurden bilanzierte Rationen mit unterschiedlichem Heu-/Haferverhältnis und adäquatem Ca/P-Verhältnis gefüttert. In den Haferrationen war für die Versuchstiere eine hohe Krafffutteraufnahme bei geringer Raufutteraufnahme notwendig. Eine Praxisrelevanz ist hier durchaus vorhanden, da beispielsweise in der Fütterung von Rennpferden vergleichbare Rationen üblich sind (ZMIJA, 1991).

Das Risiko einer Gefährdung der Gesundheit der Versuchstiere (Hufrehe) wurde durch regelmäßige Untersuchungen auf verstärkte Pulsation der Mittelfußarterien, erhöhte Hufwandtemperaturen und verändertes Allgemeinbefinden sowie durch regelmäßige Messungen der Kot-pH-Werte minimal gehalten. Außerdem war die absolute Krafffutteraufnahme so niedrig, dass kein hohes Risiko für eine Dickdarmazidose bestand.

Da eine Verabreichung der säuernden Zusätze über das Futter aufgrund der negativen Geschmacksbeeinflussung nicht möglich war, wurde die Mineralmischung direkt ins Maul gegeben. Diese Applikation der Mineralmischung ist vergleichbar mit der Verabreichung von Wurmkuren beim Pferd oder Mineral- und Vitaminpasten beim Fohlen. Durch ein Hochhalten der Köpfe der Ponys nach der Mineralfuttereingabe, wurden mögliche Verluste durch Kopfschütteln oder ein nicht Abschlucken weitgehendst vermieden. Diese Verluste hätten zu einer Überschätzung der Verdaulichkeiten geführt.

Die Reihenfolge der Futterraufnahme während der Heurationen entsprach den Fressgewohnheiten der Ponys außerhalb von Versuchszeiten. In den haferreichen Rationen änderte sich die Reihenfolge der Futterraufnahme und die Ponys fraßen zuerst das Heu, da sie wahrscheinlich durch die mangelnde Raufutteraufnahme ein nicht ausreichend befriedigtes Kaubedürfnis hatten. Die Raufutteraufnahme in den haferreichen Rationen lag bei nur $0,33 \text{ kg} \pm 0,04/100 \text{ kg}$ KM; empfohlen wird ein aber Raufutteranteil von $1 \text{ kg}/100 \text{ kg}$ KM in der Ge-

samtration (MEYER und COENEN, 2002). Der Mangel an kaufähigem Material war vermutlich auch der Grund für das unruhige Verhalten der Pferde und das Bedürfnis nach Anfressen von Holz (GÜLDENHAUPT, 1979). Durch das Anbringen von Elektrozäunen konnten die Pferde davon abgehalten werden.

Die lange Verzehrsdauer der großen Hafermengen verteilt über mehrere kleine Mahlzeiten könnte durch die hohe Kohlenhydrataufnahme bedingt gewesen sein. RALSTON et al. (1979) fanden bei Ponys, die mit einem pelletierten Alleinfutter gefüttert wurden, eine negative Korrelation zwischen dem Plasmaglukosespiegel und der Größe und Häufigkeit der aufgenommenen Mahlzeiten. Auch dämpfen hohe Konzentrationen von flüchtigen Fettsäuren, welche beim Fressen von großen Kraftfuttermengen vermehrt im Dünndarm entstehen, die Futteraufnahme beim Pferd (RALSTON et al., 1983).

Flüchtige Fettsäuren gelten zum einen mit einem pKs-Wert von 4,75 bis 4,81 nur als schwache Säuren, zum anderen werden sie im Organismus zu CO₂ und H₂O verstoffwechselt und sind damit neutral für den Säure-Basen-Haushalt. Es gab zwar vereinzelte Messungen von Kot-pH-Werten in einem Bereich von 6,0 bis 6,2 in den Rationen Heu II/-106 und Hafer II/-85, aber die Mittelwerte lagen stets über 6,4. Nach MEYER und COENEN (2002) sind Kot-pH-Werte unter 6,2 bereits auffällig, jedoch sprechen erst pH-Werte unter 6,0 für eine übermäßige Fermentation von Kohlenhydraten im Dickdarm des Pferdes. Eine leichte subklinische Blinddarmazidose der Versuchstiere in den anionenreichen Rationen war also möglicherweise vorhanden, aber die Blinddarmazidose als Ursache für die starke Harnansäuerung in den Haferversuchen kann ausgeschlossen werden. Zudem kam es auch bei einer sauren Heuration (Heu II/-106) zu einem starken Abfall der Kot-pH-Werte jedoch nicht zu einer Harnansäuerung.

5.1.2 Berechnung der AKB

Die Bestimmung der AKB im Futter basiert auf der Formel von KIENZLE et al. (1991), allerdings wurde in Anlehnung an KROHN (1993) und STÜRMER (2005) für Phosphor eine Wertigkeit von 1,8 angenommen, da dieser im Versuchsfutter ausschließlich in organisch gebundener Form vorlag. Aufgrund der schwefelhaltigen Mineralzusätze wurden zur Berechnung der AKB die analytisch bestimmten Gehalte an Schwefel verwendet. STÜRMER (2005) rechnete

mit Gehalten an Methionin und Cystein im Futtermittel, was nach KIENZLE et al. (1991) zulässig ist, sofern im Futter nicht größere Mengen anderer schwefelhaltiger Verbindungen zu erwarten sind. Außerdem verwendete er Methioningehalte aus Futterwerttabellen. Dies führt nach eigenen Berechnungen zu einer Überschätzung der AKB um 30 bis 80 mmol. Für einen Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit denjenigen von STÜRMER (2005) wurde daher seine AKB auf Basis der gemessenen Schwefelwerte in den eigenen Futtermitteln neu kalkuliert.

Bei der Kalkulation der AKB wurden Unterschiede in der Absorptionsrate der Mengenelemente nicht berücksichtigt. Diese Unterschiede sind zum Beispiel der Grund für die säuernde Wirkung von Magnesiumchlorid und Calciumchlorid, obwohl diese rechnerisch keine Auswirkung auf die AKB haben (KIENZLE, 1991). Ebenfalls unberücksichtigt blieben auch mögliche Interaktionen der verschiedenen supplementierten Mineralzusätze. Durch die Berechnung der scheinbaren Verdaulichkeiten der Mineralstoffe konnte allerdings eine „Bilanz der scheinbar verdauten Kationen und Anionen“ für jede Ration erstellt werden, so dass die Auswirkungen der unterschiedlichen Absorptionsraten auf die AKB und den Harn-pH-Wert im Nachhinein überprüft werden konnten. Außerdem konnte anhand der berechneten wahren Verdaulichkeiten der Aspekt der Verfügbarkeit von Ca-Sulfat beim Pferd geklärt werden (s.u.).

5.1.3 Harngewinnung

Aus Tierschutzgründen wurde der Urin der Pferde während dem Spontanabsatz aufgefangen. Die quantitative Sammlung des Urins gelang somit vollständig. Die pH-Wert Messung erfolgte direkt nach dem Harnabsatz, so dass Veränderungen des pH-Werts durch Abkühlung, Luftkontakt oder Entweichen von Kohlendioxid vernachlässigbar sind. KIENZLE (1989) fand bei Katzen keinen signifikanten Unterschied zwischen dem pH-Wert von spontan abgesetztem Urin und dem pH-Wert, der direkt in der Blase gemessen wurde. Es kann also angenommen werden, dass Luftkontakt und Abkühlung des Urins innerhalb kurzer Zeit nicht zu wesentlichen Veränderungen des pH-Werts führen.

Die Berechnung des Harnvolumens über die Kreatininausscheidung ergab große systematische Differenzen zu den tatsächlich ausgeschiedenen Harnmengen. Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch STÜRMER (2005) und SCHIELE (2008). SCHIELE (2008) verglich ebenfalls aufgefangene mit errechneten Harnmengen bei denselben Versuchsporns. Betrachtet man die Kreatininwerte und Harnvoluminas dieser Studie und die Ergebnisse von SCHIELE (2008), ergibt sich folgender Zusammenhang (Abb. 9):

$$\text{Harnvolumen} \left[\frac{\text{ml}}{100 \text{ kg KM} \times \text{h}} \right] = 4036,4 \times \text{Kreatinin im Urin} [\text{mg/dl}]^{-0,8144}$$

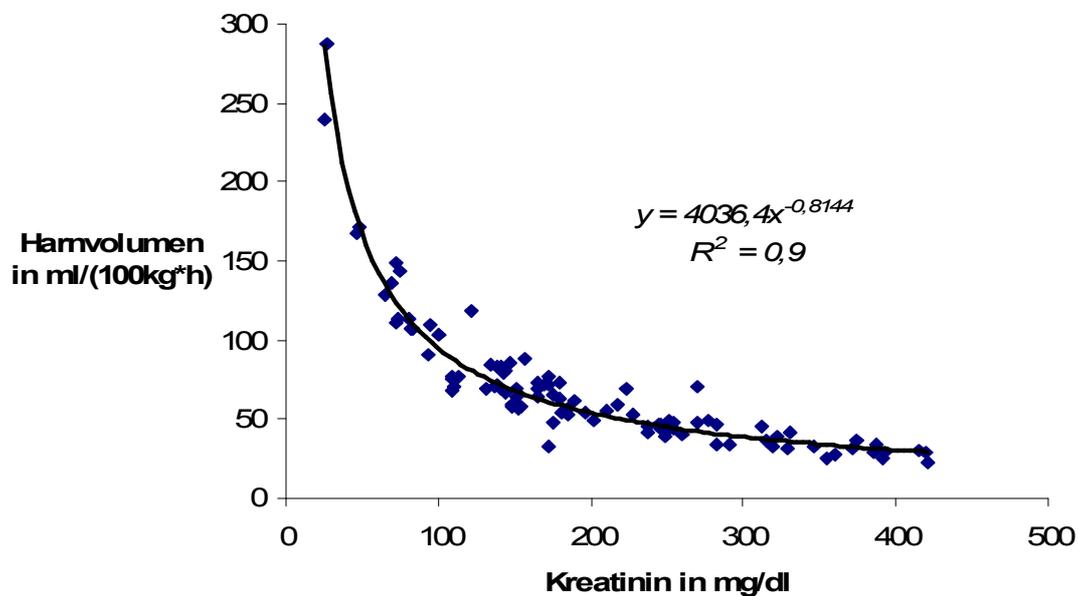


Abb. 9: Harnvolumen [ml/(100kg*h)] der Versuchsporns in Abhängigkeit von der Kreatininkonzentration im Urin (eigene Daten und Daten von SCHIELE, 2008)

Die durchschnittliche Kreatininausscheidung war mit 1,07 mg/kg KG/h um fast 10% geringer als in den Versuchen von MEYER und STADERMANN (1990). Die Versuchspferde bei MEYER und STADERMANN (1990) wurden regelmäßig auf dem Laufband gearbeitet und waren dadurch wahrscheinlich besser bemuskelt als die Versuchsporns in dieser Studie, welche weder Jahre vor Versuchsbeginn noch währenddessen gearbeitet wurden. Auch in der Studie von VOM STEIN (1985) wurden die Versuchspferde alle vier Tage auf dem Laufband gearbeitet. Die Unterschiede in der Kreatininausscheidung in den

verschiedenen Studien lassen sich vermutlich durch den unterschiedlichen Trainingszustand der Versuchstiere begründen, da nach KRAFT und DÜRR (2005) die Serumkonzentration und damit auch die renale Ausscheidung von Kreatinin beim Pferd in einer gewissen Beziehung zur Muskelmasse des Individuums stehen.

Folglich sollte für zukünftige Studien mit denselben Versuchspöns die hier abgeleitete Formel zur Abschätzung des Harnvolumens angewendet werden.

5.1.4 Kotgewinnung

Durch das Auslegen der Paddocks mit Gummimatten konnte eine Verunreinigung des Kots durch Erde oder Steine verhindert werden. Aufgrund der 24 h-Betreuung während der Bilanzphasen konnte der Kot in regelmäßigen Abständen vollständig abgesammelt werden und so ein Zertrampeln oder eine Verunreinigung durch die Pöns weitgehend vermieden werden. Mögliche Verluste bei der Kotsammlung hätten zu einer Überschätzung der Verdaulichkeiten geführt. In diesem Fall wäre es bei dem extrem hochverdaulichen Chlorid (COE-NEN, 1991) in Einzelfällen zu wahren Verdaulichkeiten von über 100% gekommen, was jedoch nicht der Fall war.

Durch Zerdrücken der einzelnen Kotballen vor dem sorgfältigen Vermischen wurde versucht, möglichst repräsentative Stichproben zu gewinnen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Mineralstoffhaushalt

- **Calcium**

Die scheinbaren Verdaulichkeiten von Calcium lagen in einem Bereich zwischen -3,0 und 31% und waren bei ähnlicher Ca-Aufnahme bei den raufutterreichen tendenziell etwas höher als bei den kraffutterreichen Rationen. Dieser Effekt ist bereits durch andere Studien bekannt (MEYER et al., 1990, 1992 und 1993; NEHRING, 1991; STÜRMER 2005) und offensichtlich unabhängig vom Ca/P-Verhältnis. Ursache für die höhere intestinale Absorption von Calcium in Raufutterrationen könnten Einflüsse des intestinalen Wasserumlaufs und eine

Stimulierung passiver Transportvorgänge (STADERMANN et al., 1992) sein. Beim Kaninchen gibt es sehr wahrscheinlich aktive Ca-Transportmechanismen im Darm (LIESEGANG et al., 2008), daher kann auch über einen aktiven Ca-Transport bei großen Dickdarmverdauern wie dem Pferd spekuliert werden.

Wie bei STÜRMER (2005) bestand keine besonders straffe Abhängigkeit zwischen der Ca-Aufnahme und der fäkalen Ca-Exkretion (Abb. 10).

Anhand von Regressionen von Mineralstoffaufnahme und fäkaler Mineralstoffausscheidung lassen sich die endogenen Verluste über den Kot für einen Mineralstoff extrapolieren. Betrachtet man alle Ca-Bilanzen der Versuchssponys dieser Studie und die der Pilotstudie von STÜRMER (2005), ergeben sich mittlere endogene fäkale Verluste von 28 mg/kg KG/d. Diese stimmen mit den Angaben aus der Literatur überein. SCHRYVER et al. (1971a) errechneten fäkale endogene Verluste von 27,4 mg Ca/kg KG/d bei einer Aufnahme von 84 mg Ca/kg KG/d. MEYER und COENEN (2002) geben beim Pferd für die gesamten endogenen Verluste an Calcium 30 mg/kg KG/d an, wobei nach TELEB (1984) die renalen endogenen Verluste vernachlässigbar sind, da ihr Wert nahe bei Null liegt.

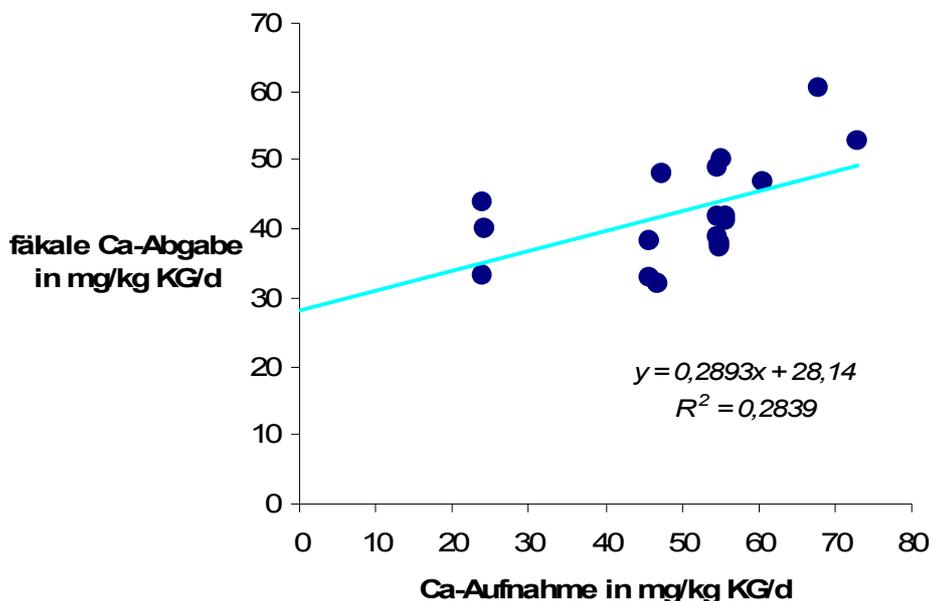


Abb. 10: Zusammenhang zwischen mittlerer Ca-Aufnahme und mittlerer fäkaler Ca-Ausscheidung (eigene Untersuchungen und Daten von Stürmer, 2005)

Unter Berücksichtigung der endogenen fäkalen Verluste von 28 mg Ca/kg KG/d wurden die wahren Verdaulichkeiten von Calcium berechnet (Tab. 35). Die Un-

terschiede zwischen den Heu- und Haferrationen sind auch bei den wahren Verdaulichkeiten erkennbar. Im Versuch Hafer II/-85 kam das Calcium zu 50% aus dem Grundfutter und zu 50% aus dem Supplement Ca-Sulfat. Die hohe wahre Verdaulichkeit von 92,1% beweist für die Versuchssponys eine gute Verfügbarkeit von Calcium aus Ca-Sulfat.

Tab. 35: Wahre Verdaulichkeiten (wV) der Mineralstoffe

Ration	Ca in %	P in %	Na in %	Mg in %	K in %	Cl in %
Heu I/214	75,2 ±	-10,6 ±	63,9 ±	55,8 ±	71,6 ±	94,0 ±
	10,8	10,4	31,9	9,2	3,9	7,0
Heu I/86	76,5 ±	14,9 ±	75,1 ±	68,0 ±	70,3 ±	96,0 ±
	11,1	21,3	15,4	5,9	7,6	0,7
Heu III/186	78,4 ±	27,6 ±	45,5 ±	85,7 ±	80,5 ±	98,9 ±
	23,2	32,4	27,1	11,5	3,0	0,2
Heu III/-112	89,8 ±	25,7 ±	86,9 ±	83,6 ±	78,3 ±	98,7 ±
	11,2	52,1	45,2	19,5	7,6	0,9
Hafer I/233	52,5 ±	38,9 ±	72,5 ±	57,5 ±	69,5 ±	98,3 ±
	30,6	31,7	16,2	28,9	14,7	0,8
Hafer I/-22	69,2 ±	37,5 ±	91,0 ±	68,5 ±	61,5 ±	98,5 ±
	9,4	14,0	13,7	7,6	10,3	0,3
Hafer II/214	56,8 ±	60,7 ±	74,8 ±	72,3 ±	88,7 ±	99,0 ±
	37,3	9,8	18,8	18,8	3,6	1,5
Hafer II/-85	92,1 ±	84,6 ±	98,5 ±	92,4 ±	84,5 ±	99,7 ±
	16,9	15,6	7,9	15,3	4,9	0,4

Eine erhöhte renale Ausscheidung von Calcium beim Pferd im Zusammenhang mit sinkender AKB der Ration bzw. sinkendem Harn-pH-Wert wird von TOPLIFF et al. (1989), WALL et al. (1992), BAKER et al. (1992, 1993, 1998) und RALSTON (1994) beschrieben. Als Grund dafür wurde eine erhöhte Wirkung des Parathormons auf die Calcitriolproduktion der Niere (McKENZIE et al., 2002) oder eine direkte Hemmung der renalen Ca-Rückresorption an den Tubuluszellen bei azidierenden Rationen (LEMANN et al., 1967) diskutiert. Eine leichte Tendenz zur erhöhten Ca-Ausscheidung über die Nieren gab es in der

eigenen Studie und in der von STÜRMER (2005) nur in den Haferversuchen, allerdings war der Effekt nicht systematisch.

Die renale Ca-Ausscheidung war bei neutraler AKB sowohl in dieser Studie als auch in der von STÜRMER (2005) - also unabhängig vom Ca/P-Verhältnis - bei den Heurationen insgesamt höher als bei den Haferrationen. MEYER et al. (1992) beobachteten ebenfalls bei Heurationen eine höhere renale Ca-Ausscheidung im Vergleich zu Haferrationen. Bei negativer AKB war die renale Ca-Ausscheidung bei STÜRMER (2005) in den Heurationen ebenfalls höher als in den Haferrationen. In der vorliegenden Studie gab es bei ausreichender Ca-Aufnahme diesen Effekt bei negativer AKB nicht mehr. Wahrscheinlich kam es bei der Ca-Ausscheidung über den Urin zu Interaktionen zwischen der AKB, der absoluten Ca-Aufnahme und der Futterart.

- **Phosphor**

Eine Abhängigkeit zwischen der scheinbaren P-Verdaulichkeit bzw. der fäkalen P-Ausscheidung und der AKB der Ration konnte nicht gefunden werden. Dies entspricht den Ergebnissen anderer Autoren (BAKER et al. 1992, 1998; STÜRMER 2005). Wie bei NEHRING (1991) gab es nur eine schwache Korrelation zwischen der P-Aufnahme und der fäkalen Ausscheidung ($R^2 = 0,27$).

Die scheinbaren P-Verdaulichkeiten korrelierten positiv mit der P-Aufnahme ($R^2 = 0,62$) und schwankten zwischen -103,8 und 5,3 %, wobei sie in den Heuversuchen wie bei STÜRMER (2005) deutlich niedriger lagen als in den Haferversuchen. Ursächlich für die geringeren P-Verdaulichkeiten in rohfaserreichen Rationen vermuteten MEYER et al. (1982) eine höhere Sekretion phosphorhaltiger Verdauungssekrete. Nach MEYER und COENEN (2002) enthalten die Verdauungssekrete beim Pferd allerdings kaum Phosphor (Tab. 3).

In den Heurationen resultierten aus den niedrigen scheinbaren P-Verdaulichkeiten negative P-Bilanzen. Dieser Effekt scheint bei Grasheu stärker zu sein als bei Luzernenheu (s. 2.2.), was vermutlich durch die unterschiedliche chemische Zusammensetzung der beiden Heuarten bedingt ist. Die Ponys zeigten zwar keinerlei Anzeichen eines Mineralstoffmangels, jedoch scheint bei hauptsächlichlicher Grasheufütterung die P-Versorgung bei Pferden sehr knapp zu sein.

Die P-Aufnahmen in den verschiedenen Versuchen dieser Studie und in der von STÜRMER (2005) differierten nicht ausreichend, um eine Extrapolation der P-Abgabe gegen die P-Aufnahme durchzuführen; es gab jedoch keine fäkalen Verluste unter 25 mg/kg KG/d (Abb. 11). Auch bei den wahren P-Verdaulichkeiten blieb der deutliche Unterschied zwischen den Heu- und den Haferrationen bestehen (Tab. 35).

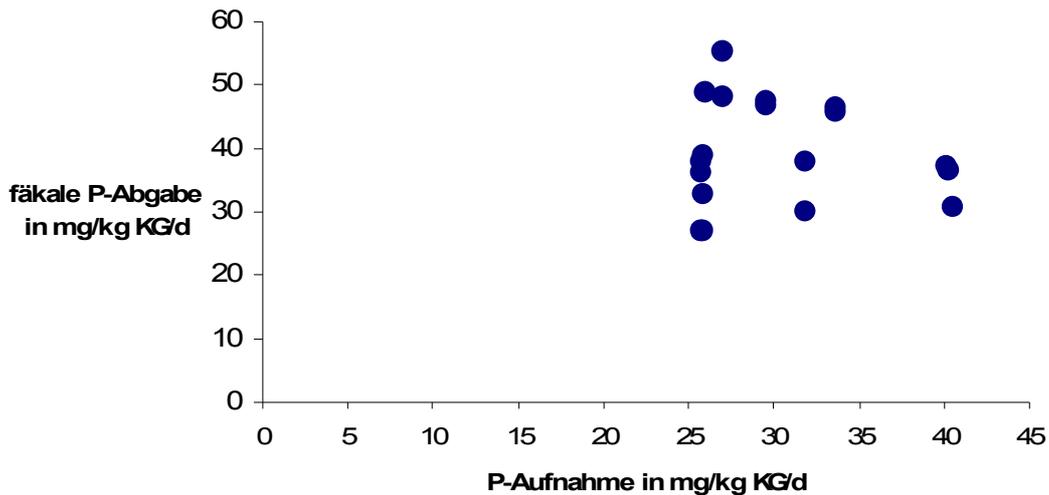


Abb. 11: Zusammenhang zwischen mittlerer P-Aufnahme und mittlerer fäkaler P-Ausscheidung (eigene Studie und Daten von Stürmer, 2005)

Nach SCHRYVER et al. (1971b) gibt es eine messbare renale P-Ausscheidung erst ab einer P-Aufnahme von über 40 mg/kg KG/d. Dies erklärt die sehr geringen P-Mengen von 0,00 bis 0,14 g/l im Urin in den eigenen Untersuchungen. Die renale P-Abgabe korrelierte wie bei MEYER und STADERMANN (1990) und bei STÜRMER (2005) nur schwach mit der P-Aufnahme ($R^2 = 0,23$).

Eine Beziehung zwischen P-Konzentration im Harn und sinkenden Harn-pH-Werten wie bei MCKENZIE et al. (2002) und STÜRMER (2005) konnte nicht gefunden werden. Die Autoren erklärten diesen Effekt mit einer gesteigerten Empfindlichkeit des Organismus gegenüber dem Parathormon bei azidotischer Stoffwechsellage (MCKENZIE et al., 2002). In der Studie von STÜRMER (2005) kam es wahrscheinlich durch einen absoluten Ca-Mangel in den Haferversuchen und bei MCKENZIE et al. (2002) durch eine P-Übersorgung (LENSING, 1998) zu einer höheren Parathormonausschüttung als in den eigenen Untersuchungen. In beiden Studien gab es aber auch im Gegensatz zur eigenen Studie ein inverses Ca/P-Verhältnis. Auch WILMS-EILERS (1992) beo-

bachtete, dass bei Katzen die renale P-Ausscheidung in erster Linie vom Ca/P-Verhältnis der Ration und erst in zweiter Linie von der AKB abhängig war. In ihren Versuchen gab es signifikant erhöhte P-Ausscheidungen bei den Rationen mit inversem Ca/P-Verhältnis.

- **Magnesium**

Die scheinbaren Verdaulichkeiten variierten in den Versuchen zwischen -6,7 und 46,3 %; einen Unterschied zwischen Heu- und Haferrationen gab es nicht. NEHRING (1991) hingegen fand bei der Auswertung der Literatur Nettoabsorptionen zwischen 5 und 60%. In seinen Untersuchungen lag die scheinbare Verdaulichkeit in den Raufutterrationen signifikant höher als bei Mischfutterrationen trotz gleicher Mg-Aufnahme. Möglicherweise gibt es diesen Effekt nur bei der Verfütterung von Luzernenheu (s. 2.2.).

Da die Mg-Aufnahmen in allen Versuchen in einem sehr ähnlichen Bereich lagen, konnte keine straffe Abhängigkeit zwischen der Aufnahme und der fäkalen Ausscheidung, wie von HINTZ und SCHRYVER (1972) beschrieben, ermittelt werden. Aus dem gleichen Grund lagen die extrapolierten endogenen fäkalen Verluste mit 9 mg/kg KG/d deutlich über den Angaben in der Literatur. HINTZ und SCHRYVER (1972, 1973) ermittelten endogene Verluste über den Kot von 2 mg/kg KG/d im Mittel. STÜRMER (2005) extrapolierte in seiner Studie endogene fäkale Verluste von 1,8 mg Mg/kg KG/d, was den Ergebnissen von HINTZ und SCHRYVER (1972, 1973) entspricht. Fasst man allerdings die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen zusammen, liegen die eigenen Daten in einem vergleichbaren Bereich wie die von STÜRMER (2005) und HINTZ und SCHRYVER (1972, 1973). Die lineare Korrelation zwischen Mg-Aufnahme und fäkaler Abgabe wird dann durch folgende Gleichung beschrieben: $y = 0,3773x + 6,5817$, $R^2 = 0,87$, $n = 37$ (Abb. 12).

Die wahren Mg-Verdaulichkeiten wiesen entsprechend der scheinbaren Verdaulichkeiten keinen Unterschied zwischen den Heu- und Haferversuchen auf (Tab. 35).

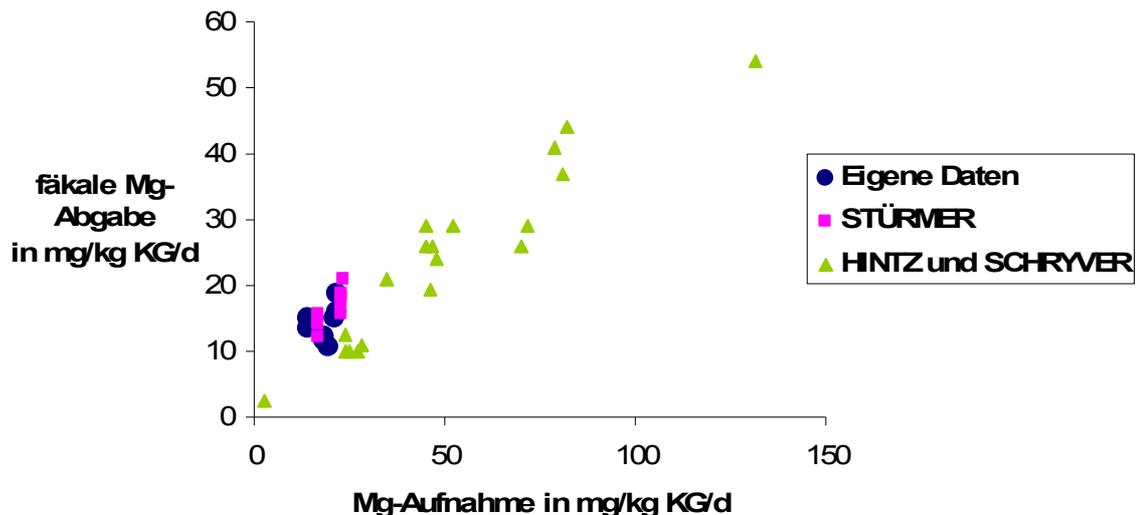


Abb. 12: Zusammenhang zwischen mittlerer Mg-Aufnahme und mittlerer fäkaler Mg-Ausscheidung - Vergleich der eigenen Daten mit den Daten von STÜRME (2005) und HINTZ und SCHRYVER (1972, 1973)

• Natrium

Wie bei den Untersuchungen von BAKER et al. (1998) konnte keine Abhängigkeit zwischen Na-Aufnahme und fäkaler Ausscheidung gefunden werden. Einen Einfluss der K-Aufnahme auf die fäkale Na-Ausscheidung, wie ihn WEIDENHAUPT (1977) beobachtete, konnte nicht festgestellt werden, was sicherlich auch an den wenig variierenden K-Aufnahmen lag. Die Extrapolation der fäkalen Na-Ausscheidung ergab endogene fäkale Verluste von 12 mg Na/kg KG/d. Dies entspricht Angaben aus der Literatur: MEYER und COENEN (2002) gaben 18 mg Na/kg KG/d für die gesamten endogenen Verluste beim Pferd an.

Die scheinbare Na-Verdaulichkeit beim Pferd korreliert mit der Na-Aufnahme, wobei in einem Bereich von 20-80 mg/kg KG/d starke Schwankungen auftreten können (MEYER, 1980). Die scheinbaren Verdaulichkeiten in dieser Studie lagen mit ca. 20 mg/kg KG/d an der unteren Grenze dieses Bereichs und schwankten entsprechend. Die scheinbaren Verdaulichkeiten von Natrium korrelierten ebenso wie die Na-Bilanzen straff positiv mit der Na-Aufnahme. Mit den eigenen Daten kann ein linearer Zusammenhang zwischen Na-Aufnahme und der scheinbaren Verdaulichkeit mit der Gleichung $y = 3,7021x - 61,79$; $R^2 = 0,5$ beschrieben werden. Ein linearer Zusammenhang zwischen der Na-Aufnahme und der Na-Bilanz ergibt sich mit den eigenen Daten aus der Gleichung

chung $y = 0,6635x - 17,873$; $R^2 = 0,6$. Die scheinbaren Na-Verdaulichkeiten waren in den Haferversuchen tendenziell höher als in den Heuversuchen.

Außerdem gab es eine negative Korrelation zwischen der scheinbaren Verdaulichkeit von Natrium und der gesamten fäkalen Kotausscheidung in TS (Abb. 13).

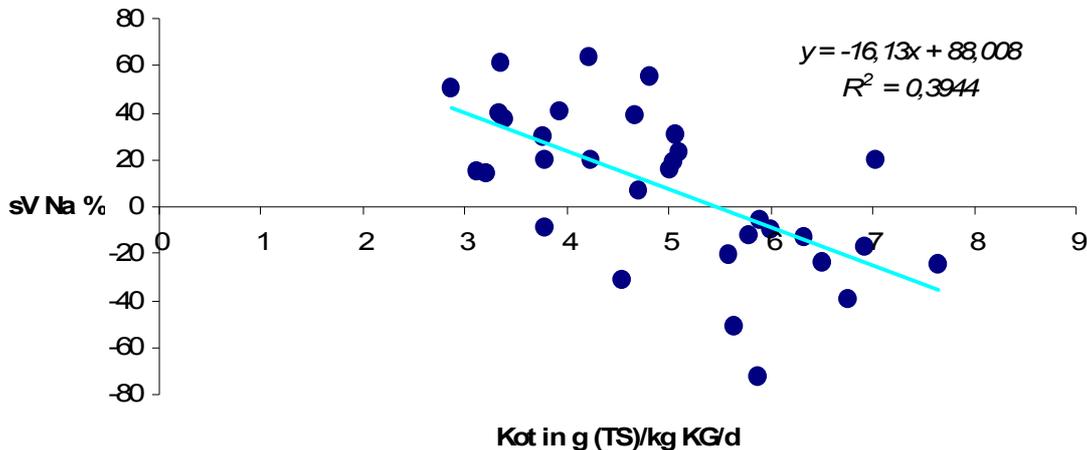


Abb. 13: Korrelation zwischen der scheinbaren Verdaulichkeit von Natrium und der gesamten fäkalen TS-Ausscheidung

KIENZLE et al. (2001) stellten bei Hunden einen ähnlichen Effekt von Rohfaser fest. In ihrer Studie wurde sowohl die Na-Verdaulichkeit als auch die K- und die Cl-Verdaulichkeit durch Zellulosezulagen reduziert. Die fäkale Na-Ausscheidung der Hunde korrelierte in der Studie von KIENZLE et al. (2001) signifikant mit der Kotmenge. Dies ließ sich in der eigenen Studie nicht zeigen, da die Na-Aufnahme unglücklicherweise mit der Kotmenge negativ korrelierte, so dass sich hier Interaktionen ergaben. GÜLDENHAUPT (1979) stellte bei Pferden abnehmende scheinbare Na-Verdaulichkeiten mit steigendem Rohfasergehalt der Ration fest. Die Autorin erklärte diesen Effekt durch eine höhere Sekretion natriumhaltiger Sekrete in das Darmlumen bei raufutterreichen Rationen. Es stellt sich die Frage, ob es zulässig ist, die wahren Na-Verdaulichkeiten bei Heu- und Haferrationen mit entsprechend unterschiedlichen Kotmengen mit einem Einheitswert für die endogenen Verluste zu berechnen. Betrachtet man Heu- und Haferrationen getrennt - unter Berücksichtigung der Daten von STÜRMER (2005) - ergeben sich für Hafer fäkale Verluste von nur 3,5 mg/kg KG/d bei einer sehr straffen positiven Korrelation zwischen Aufnahme und Aus-

scheidung ($R^2 = 0,96$). Dies könnte die Theorie von GÜLDENHAUPT (1979) bestätigen, dass bei Raufutter vermehrt Natrium in den Darm sezerniert wird. Allerdings hatte STÜRMER (2005) in den Haferversuchen sehr niedrige Na-Aufnahmen, wodurch es wahrscheinlich durch eine erhöhte Aldosteronaktivität zu einem Rückgang der fäkalen Abgaben kam (LINDNER, 1983).

Es gab keinen Zusammenhang zwischen der scheinbaren Na-Verdaulichkeit und der renalen Na-Ausscheidung. Die Ausscheidung von Natrium über den Harn korrelierte negativ mit der AKB in der Ration (Abb. 14). Allerdings gab es keinen Zusammenhang mit den Harn-pH-Werten. BAKER et al. (1993) fanden in ihren Versuchen ebenfalls bei der Ration mit der niedrigsten AKB die maximale Na-Ausscheidung über den Urin. Die Autoren vermuteten, dass Natrium bei der renalen Ausscheidung als Begleitung für Chlorid fungiert, welches durch die chloridhaltigen Supplemente in Rationen mit niedriger AKB vermehrt ausgeschieden wird. In der eigenen Studie ergibt sich eine schwache positive Korrelation zwischen der Menge an Chlorid und der Menge an Natrium pro ausgeschiedenem Liter Urin ($R^2 = 0,23$).

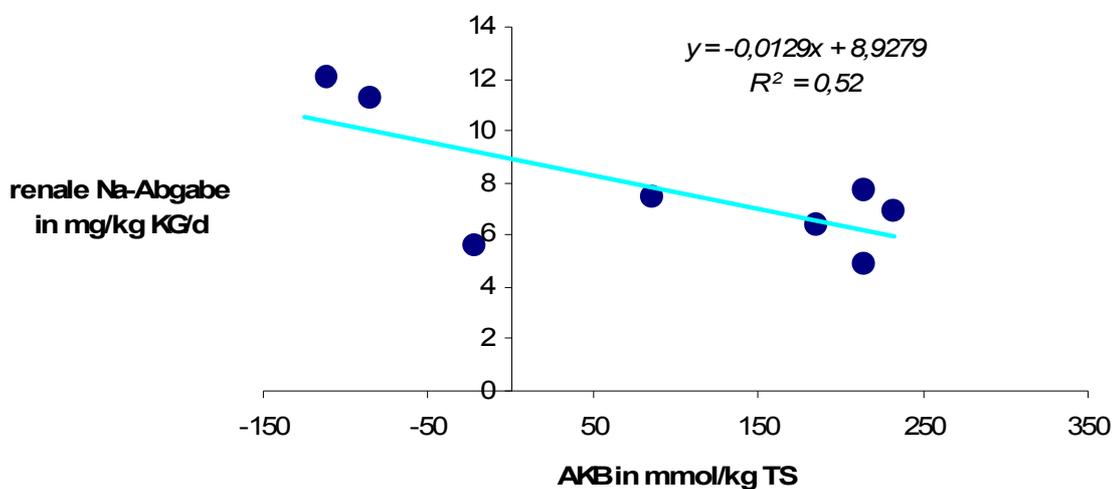


Abb. 14: Abhängigkeit der mittleren renalen Na-Abgabe von der AKB in der Ration

- **Kalium**

Nach HINTZ und SCHRYVER (1976) steigen die scheinbaren K-Verdaulichkeiten mit zunehmender K-Aufnahme. Sie fanden je nach K-Gehalt der Rati-

onen (50,4 bis 404,5 mg/kg KG/d) scheinbare Verdaulichkeiten zwischen 75 und 94%. Die scheinbaren Verdaulichkeiten von Kalium in dieser Studie lagen bei einer K-Aufnahme zwischen 66,8 und 144,7 mg/kg KG/d in einem Bereich zwischen 50 und 76% und korrelierten kaum mit der K-Aufnahme ($R^2=0,1$), was nach HINTZ und SCHRYVER (1976) auch zu erwarten war.

Die Abhängigkeit zwischen der K-Aufnahme und den fäkalen Abgaben war deutlich (Abb. 15). Außerdem gab es eine sehr straffe Korrelation zwischen der mittleren fäkalen K-Ausscheidung [mg/kg KG/d] und der mittleren Gesamtausscheidung an Kot [g TS/kg KG/d] ($y = 8,7994x - 10,024$; $R^2 = 0,91$). Allerdings wird bei heulastigen Rationen sowohl mehr Kalium aufgenommen, als auch insgesamt mehr Kot ausgeschieden. Die geschätzten endogenen Verluste über die Fäzes in den eigenen Versuchen lagen bei 8,5 mg/kg KG/d. HINTZ und SCHRYVER (1976) ermittelten bei einem K-Gehalt von 109 mg/kg KG/d in der Ration endogene fäkale Verluste von 12,8 mg/kg KG/d; bei K-Mangel können die fäkalen Verluste allerdings vom Organismus auf unter 2 mg/kg KG/d reduziert werden (GÜRER, 1985). Sowohl bei den scheinbaren als auch bei den wahren Verdaulichkeiten (Tab. 35) gab es keine Unterschiede zwischen Heu- und Haferrationen. Möglicherweise sollten auch für Kalium unterschiedliche endogene Verluste in Heu- und Haferrationen bei der Berechnung der wahren Verdaulichkeiten berücksichtigt werden.

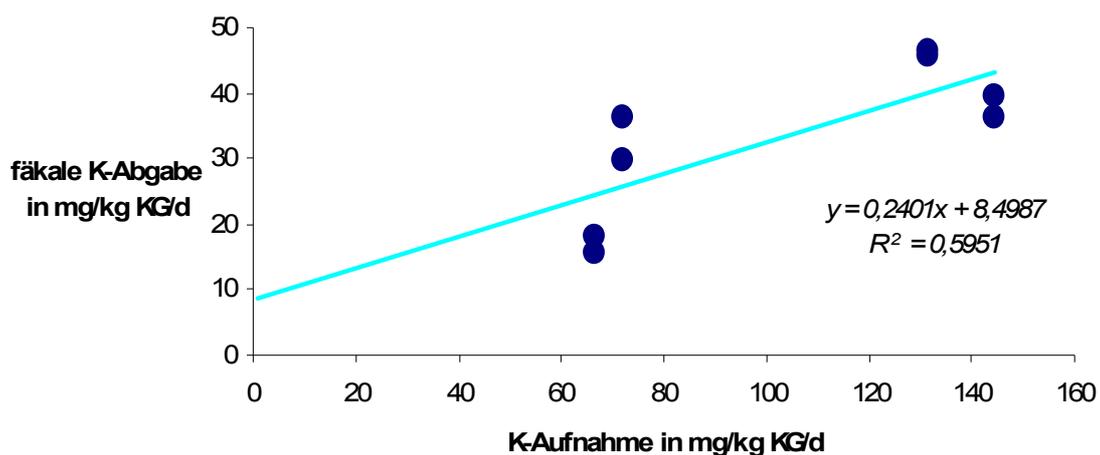


Abb. 15: Abhängigkeit zwischen mittlerer K-Aufnahme und mittlerer fäkaler K-Ausscheidung

Zwischen der renalen K-Ausscheidung und der K-Aufnahme bestand eine sehr straffe positive Abhängigkeit (Abb. 16). Dies bestätigt die Ergebnisse anderer Autoren (WEIDENHAUPT, 1977; HINTZ und SCHRYVER, 1976; HEILEMANN et al., 1990; BAKER et al., 1993 und 1998).

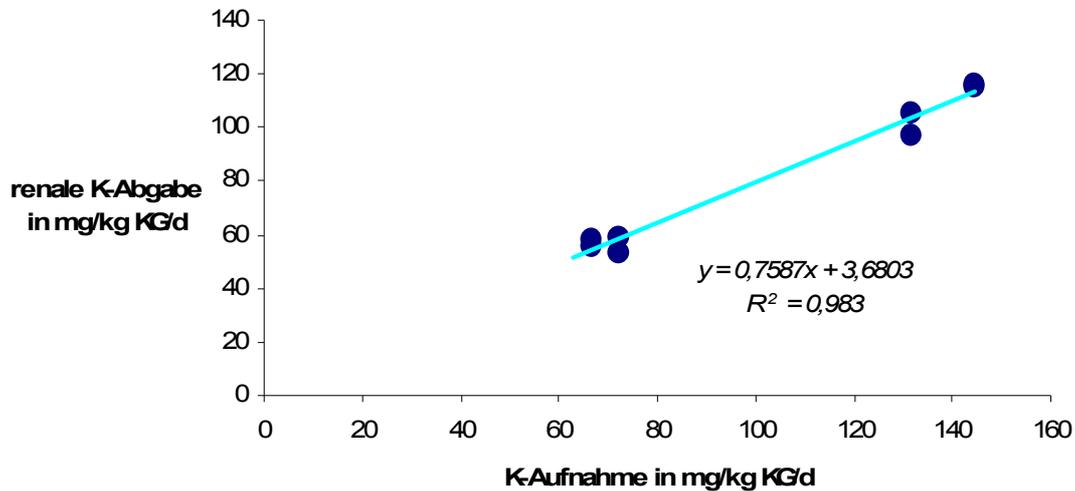


Abb. 16: Abhängigkeit der mittleren renalen K-Abgabe von der mittleren K-Aufnahme

- **Chlorid**

Die scheinbaren Verdaulichkeiten lagen in einem Bereich zwischen 94,0% und 99,1% und entsprachen genauso wie die fäkalen Abgaben den Angaben in der Literatur. COENEN (1991) fand fäkale Cl-Abgaben in einem Bereich von 1,31 bis 3,69 mg/kg KG/d; in den eigenen Untersuchungen lagen sie mit Ausnahme eines Ponys in einem Versuch zwischen 0,56 und 4,45 mg/kg KG/d und korrelierten nicht mit der Cl-Aufnahme. Die scheinbaren Verdaulichkeiten bei COENEN (1991) lagen im Mittel bei 98%; auch GOMDA (1988) fand vergleichbare Werte in seinen Untersuchungen. Die scheinbaren Verdaulichkeiten zeigten ebenfalls eine deutlich positive Korrelation mit der Gesamtmenge an Kot: $y = 0,8087x - 2,0624$, $R^2 = 0,82$. Die etwas niedrigeren scheinbaren Verdaulichkeiten im Versuch Heu I dieser Studie waren bedingt durch eine erhöhte Cl-Ausscheidung des Ponys Gharibs von 10,9 mg/kg KG/d. Dieses Pony hatte möglicherweise im Versuch Heu I eine leichte Resorptionsstörung des Darmes. Bei Nichtbeachtung dieser Werte liegen die geschätzten endogenen Verluste über die Fäzes bei 0,6 mg/kg KG/d. In 50 Bilanzuntersuchungen bei COENEN

(1991) lagen die mittleren endogenen fäkalen Verluste von Chlorid zwischen 0,75 und 2,4 mg/kg KG/d. Dabei spielte es keine Rolle, ob das Chlorid nur im Grundfutter gebunden war oder supplementiert wurde. Die wahren Verdaulichkeiten waren durch die sehr geringen fäkalen Verluste ähnlich den scheinbaren Verdaulichkeiten.

Die mittlere renale Cl-Abgabe in der vorliegenden Studie zeigte eine Abhängigkeit von der mittleren Cl-Aufnahme über das Futter ($y = 0,4071x + 30,859$; $R^2 = 0,6$), was ebenfalls den Ergebnissen von COENEN (1991) und STÜRMER (2005) entspricht.

5.2.2 Harnansäuerung

Wie bei STÜRMER (2005) kam es nur in den Haferversuchen durch die Fütterung säuernder Zusätze zu einer vermehrten renalen Säureausscheidung bei den Versuchstieren, was als Symptom einer kompensierten oder nicht kompensierten metabolischen Azidose gilt. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Studie und den Ergebnissen von STÜRMER (2005) wird deutlich, dass mit heulastigen Rationen keine Ansäuerung des Urins unter einen pH-Wert von 7,0 möglich war (Abb. 17). Dabei ist dieser Effekt offensichtlich unabhängig vom Ca/P-Verhältnis der Ration. Bei den haferreichen Versuchsrationen bestand in beiden Studien eine sehr straffe Abhängigkeit des Harn-pH-Werts von der AKB in der Ration. In den eigenen Untersuchungen ergibt sich folgende Korrelation zwischen Harn-pH-Wert und AKB: $y = -3E-05x^2 + 0,0085x + 6,7212$, $R^2 = 1$.

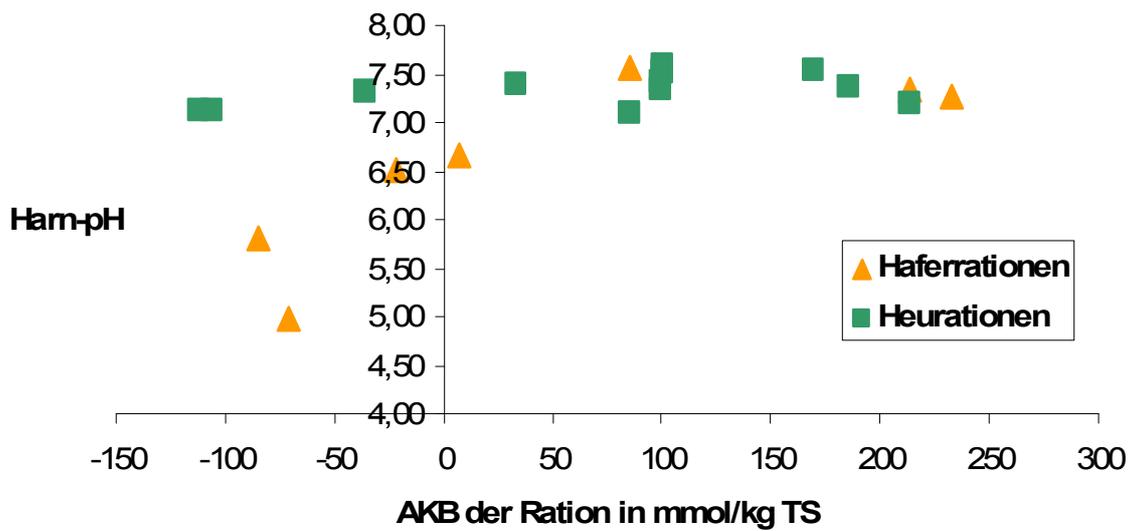


Abb. 17: Harn-pH-Wert in Abhängigkeit von der AKB der Ration - Vergleich der Heu- mit den Haferrationen (Ergebnisse dieser Studie und Daten von STÜRMER, 2005)

In der Abb. 18 sind alle Daten der eigenen Studie und der Studien von BAKER et al. (1992), WALL et al. (1992) und STÜRMER (2005) zusammengefasst. In den Heurationen gab es keinen systematischen Effekt der AKB auf den Harn-pH-Wert. Bei alleiniger Betrachtung der Haferrationen ergibt sich allerdings ein ähnlicher Zusammenhang zwischen der AKB der Ration und dem Harn-pH-Wert wie bei anderen monogastrischen Tierarten (s. 2.2.).

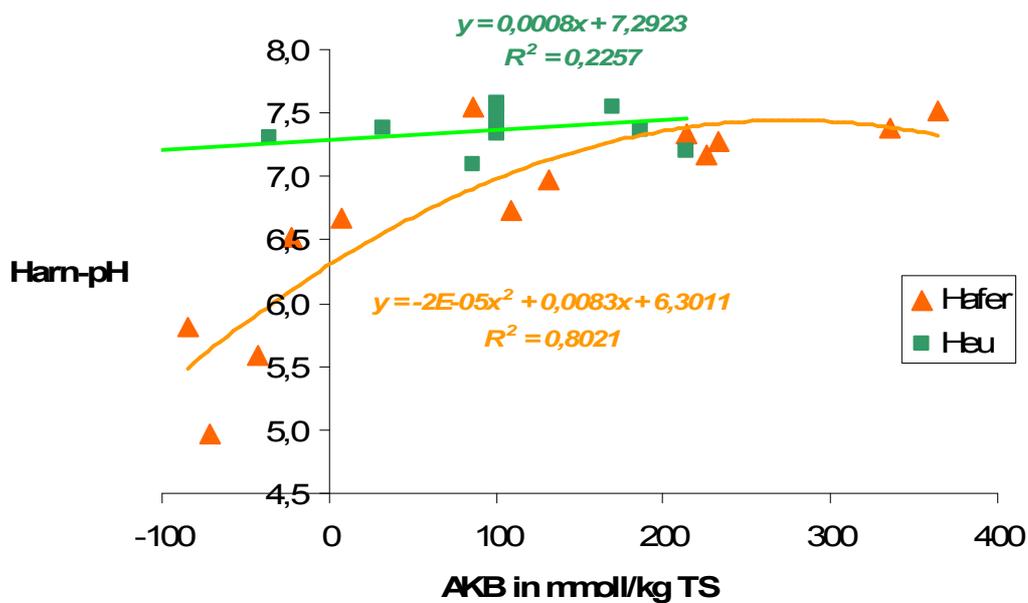


Abb. 18: Darstellung der Harnansäuerung in Beziehung zur AKB der Ration in heu- und haferlastigen Rationen (eigene Untersuchung und Daten von BAKER et al., 1992; STÜRMER, 2005; WALL et al., 1992)

STÜRMER (2005) vermutete, dass die unterschiedliche Absorption von Calcium und Phosphor der Grund für die Unterschiede zwischen den heu- und haferlastigen Rationen in seiner Studie war. Eine mögliche Ursache könnte aber auch der Unterschied in der Speichelproduktion und die daraus resultierenden Wasser- und Ionenverschiebungen (s. 2.2.) bei der Aufnahme von Rau- und Kraffutter sein.

Wenn man die scheinbaren Verdaulichkeiten der Mineralstoffe bei der Berechnung der AKB der einzelnen Rationen berücksichtigt, erhält man eine „Bilanz der scheinbar verdauten Anionen und Kationen“. Dadurch werden die unterschiedlichen Verdaulichkeiten der Mineralstoffe in den Heu- und Haferrationen in die AKB mit einberechnet. Für Schwefel wurde in dieser Studie eine scheinbare Verdaulichkeit von 70% angenommen. CROZIER et al (1997) fanden Nettoabsorptionen von 28-66% bei der Fütterung von unterschiedlichen Heuararten. In der Studie von GRACE et al. (2003) lagen die Nettoabsorptionen von Schwefel im Mittel bei 70%. Die Unterschiede zwischen Heu- und Haferrationen minimieren sich in der vorliegenden Arbeit bei der Berücksichtigung der „Bilanzen der scheinbar verdauten Anionen und Kationen“ (Abb. 20). Dies lässt vermuten, dass die Mineralstoffverdaulichkeiten, insbesondere die P-Verdaulichkeiten, für die Unterschiede bei der Harnsäuerung in Heu- und Haferrationen mitverantwortlich sind. Die Unterschiede bei den Ca-Verdaulichkeiten sind zu undeutlich und nicht systematisch genug.

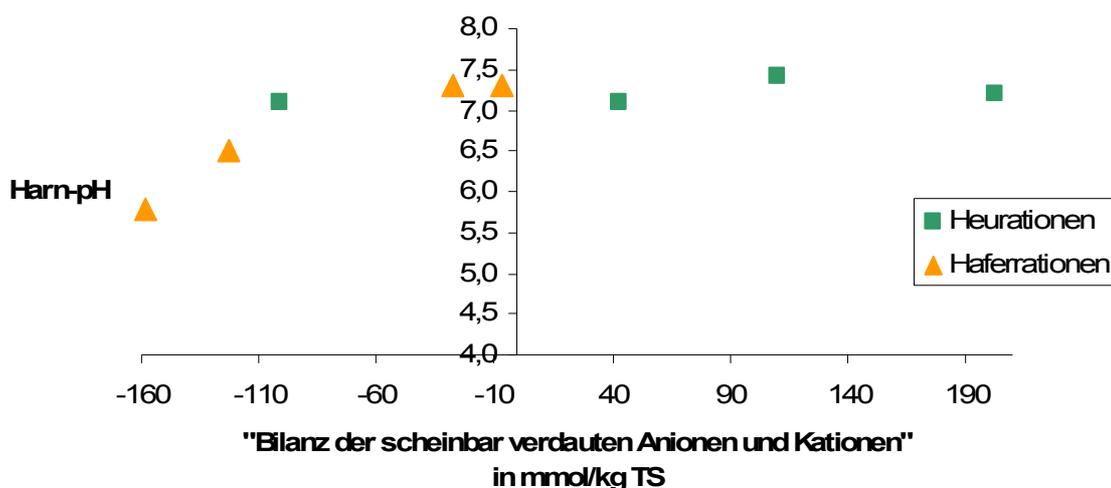


Abb. 19: Zusammenhang zwischen den „Bilanzen der scheinbar verdauten Kationen und Anionen“ (unter Berücksichtigung der scheinbaren Verdaulichkeiten der Mineralstoffe) und dem mittleren Harn-pH-Wert der Versuchspornys über die drei Bilanztage

Bei alleiniger Betrachtung der Daten von STÜRMER (2005) lässt sich der unterschiedliche Effekt bei Heu- und Haferrationen allerdings nicht mit den „Bilanzen der scheinbar verdauten Anionen und Kationen“ erklären. Möglicherweise gab es in seiner Studie noch einen weiteren Effekt. Im Unterschied zu der vorliegenden Arbeit hatte STÜRMER (2005) in den Haferrationen ein inverses Ca/P-Verhältnis und die Rationen waren nicht bilanziert. Dies führte zu einer Ca- und Na-Unterversorgung der Ponys bei gleichzeitigem K-Überschuss in den haferreichen Rationen. Zu einer deutlichen Ansäuerung des Pferdeurins kam es auch in der eigenen Studie, so dass das inverse Ca/P-Verhältnis bei STÜRMER (2005) nicht ursächlich für die Ansäuerung in seinen Haferrationen sein konnte. LANGENDORF (1963) beschrieb das Entstehen einer Azidose bei niedriger Na-Zufuhr bei gleichzeitig hoher K-Zufuhr. Möglicherweise führte bereits der Na-Mangel bei gleichzeitigem K-Überschuss in der Studie von STÜRMER (2005) bei den Versuchstieren zu einer leichten Azidose. Dafür spricht auch der Vergleich der präprandialen Blutwerte der stark negativen Haferversuche in beiden Studien. Bei einer AKB von -71 lag der mittlere präprandiale Blut-pH-Wert bei den Versuchsponys von STÜRMER (2005) bei 7,36, während er in der vorliegenden Studie bei einer AKB von -85 im Mittel bei 7,42 lag. Futtermittel mit hohen Ca-Gehalten erhöhten die Pufferkapazität des Urins bei Katzen (SCHUKNECHT, 1991; MAIWALD, 1994). Möglicherweise war in der vorliegenden Studie die Pufferkapazität des Harns - ebenfalls durch die wesentlich höheren Ca-Gehalte in den Haferrationen als bei STÜRMER (2005) - verbessert und die renale Säureausscheidung dadurch erniedrigt. Dieser Effekt würde erklären, warum bei einer vergleichbaren AKB der Harn-pH-Wert bei STÜRMER (2005) bis 4,97 abfiel und in dieser Studie nur bis 5,81. Diese Überlegungen sind allerdings nur spekulativ, daher sind weitere Untersuchungen zum Säure-Basen-Haushalt des Pferdes notwendig.

5.2.3 Blutgasanalyse

In allen Versuchen kam es 2 h postprandial zu einer Absenkung der Bikarbonatkonzentration, des Basenexzesses und des pH-Werts im arteriellen Blut. Dabei muss berücksichtigt werden, dass es beim Pferd im Allgemeinen zu einer

postprandialen Azidierung kommt (WALLER et al., 2004). Die AKB hatte keinen systematischen Effekt auf die Blutansäuerung und die Blut-pH-Werte korrelierten nicht mit den Harn-pH-Werten, da es die niedrigsten Blutwerte bei den stark negativen Heurationen gab. Dies ist zunächst ein Widerspruch zu den Harn-pH-Werten, da es nur bei den Haferrationen zu einer erhöhten renalen Säureausscheidung aufgrund einer kompensierten oder nicht kompensierten metabolischen Azidose kam. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Harn-pH-Werte 24h-Messungen sind und die Blut-pH-Werte nur eine Momentaufnahme des Säure-Basen-Status des Blutes darstellen. Die erniedrigten Blut-pH-Werte hätten sich vermutlich nach spätestens 6 h wieder den präprandialen Ausgangswerten angeglichen (STÜRMER, 2005; STUTZ et al., 1992; WALL et al., 1992).

Die postprandialen Absenkungen zeigten unabhängig vom Rationstyp eine deutliche Abhängigkeit von den absoluten Mengen an Ammoniumchlorid bzw. den stark säuernden Substanzen (Ammoniumchlorid, Ammoniumsulfat und Methionin) in der Ration (Abb. 21 und 22). Vermutlich ist die Wirkung von Ammoniumchlorid so stark, weil es schnell absorbiert wird (KIENZLE und WILMS-EILERS, 1994) und weil das durch Dissoziation entstehende Ammoniak auch in den Intrazellulärraum diffundiert und es dadurch zu einer Anreicherung von Wasserstoff- und Chloridionen extrazellulär kommt. Die direkte säuernde Wirkung von Ammoniumchlorid im Blut wird durch diesen Effekt noch zusätzlich verstärkt (MÜLLER-PLATHE, 1982). Einen Zusammenhang zwischen dem pH-Wert im Blut und der absoluten Menge an Ammoniumchlorid in der Ration fanden auch KIENZLE und WILMS-EILERS (1994), PESSINGER (1996) und IZQUIERDO und CZARNECKI-MAULDEN (1991) bei Untersuchungen an Katzen. Ein linearer Zusammenhang zwischen dem postprandialen Blut-pH-Wert und der Ammoniumchloridmenge in der Ration kann mit der Gleichung $y = -0,0004x + 7,4184$; $R^2 = 0,69$ beschrieben werden. Ein linearer Zusammenhang zwischen dem postprandialen Blut-pH-Wert und den stark säuernden Substanzen in der Ration ergibt sich aus der Gleichung $y = -0,0001x + 7,41$; $R^2 = 0,52$.

STÜRMER (2005) fand einen straffen linearen Zusammenhang zwischen der AKB im Futter und dem mittleren präprandialen Blut-pH-Wert ebenfalls unabhängig vom Rationstyp. Dies ist kein Widerspruch zu den vorliegenden Ergeb-

nissen, da die AKB in den sauren Rationen bei Stürmer (2005) lediglich von der Menge an Ammoniumchlorid in der Ration abhängig war.

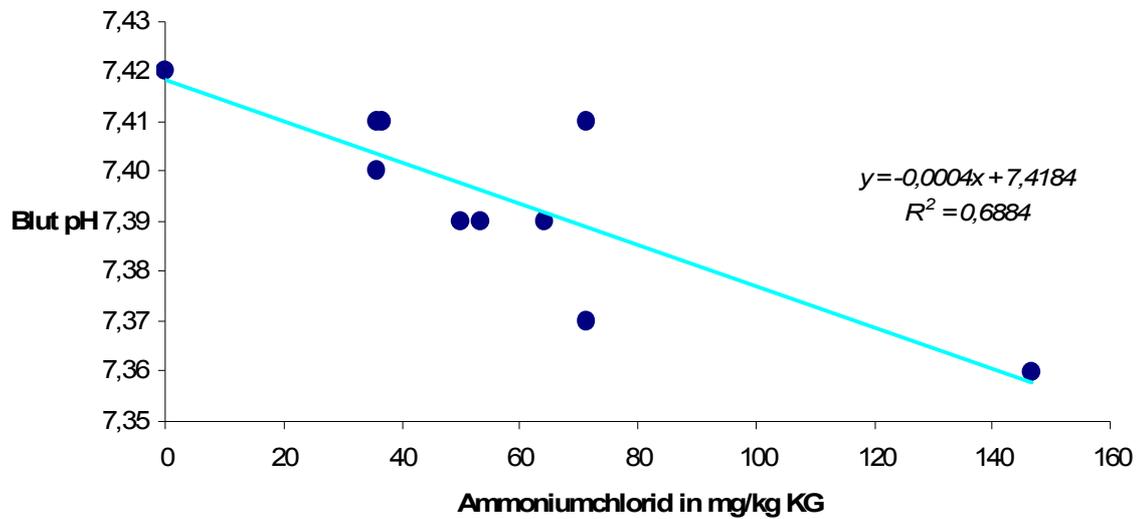


Abb. 20: Mittlerer postprandialer Blut-pH-Wert in Abhängigkeit von der Ammoniumchloridmenge in der Ration

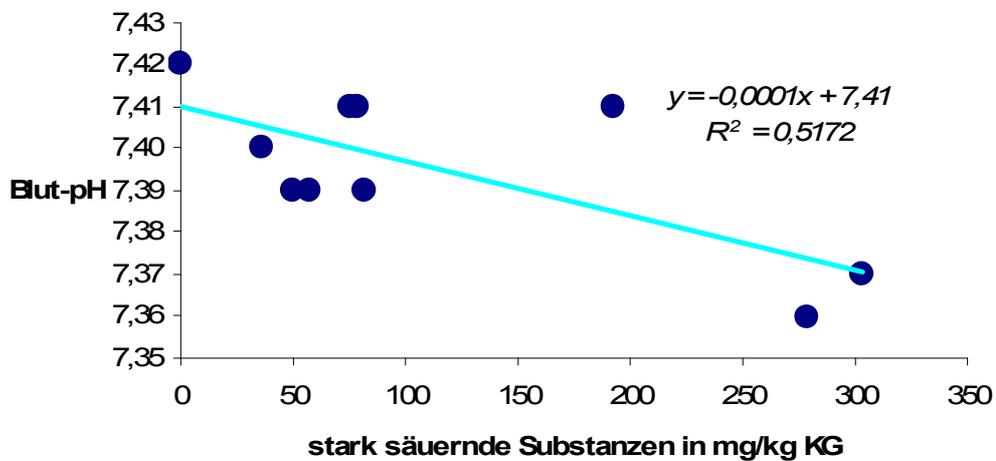


Abb. 21: Mittlerer postprandialer Blut-pH-Wert in Abhängigkeit von den stark säuernden Substanzen (Ammoniumchlorid, Ammoniumsulfat und Methionin) in der Ration

5.3 Schlussfolgerungen

In der vorliegenden Arbeit wurde die Hypothese von STÜRMER (2005) mit bilanzierten Rationen und einem adäquaten Ca/P-Verhältnis bestätigt. Unabhängig vom Ca/P-Verhältnis hat ein hohes Raufutter-/Krafffutterverhältnis einen stabilisierenden Effekt auf den Säure-Basen-Haushalt beim Pferd. Die bedarfsgerechte Versorgung mit Mineralstoffen wirkt zusätzlich stabilisierend. Die genaue Ursache für die unterschiedliche Wirkung von Raufutter und Krafffutter auf den Säure-Basen-Haushalt beim Pferd konnte in dieser Studie nicht vollständig geklärt werden. Dazu sind weitere Untersuchungen mit unterschiedlichen Futtermitteln notwendig.

6. Zusammenfassung

Lisa Berchtold

Untersuchungen zum Einfluss der Anionen-Kationen-Bilanz auf den Mineralstoff- und Säure-Basen-Haushalt bei Ponys

In der vorliegenden Arbeit wurde überprüft, ob die Hypothese, dass das Raufutter-/Krafftutterverhältnis die Stabilität des Säure-Basen-Haushalts beim Pferd erheblich beeinflusst (STÜRMER 2005, KIENZLE et al., 2006), auch mit bilanzierten Rationen und adäquatem Ca/P-Verhältnis bestätigt werden kann. Dazu wurden heu- und haferlastige Rationen unterschiedlicher Anionen-Kationen-Bilanz (AKB) an vier adulte Ponys verabreicht und die Auswirkungen auf Harn-pH-Wert, Blut-pH-Wert sowie die renale und fäkale Exkretion von Calcium, Phosphor, Natrium, Kalium, Magnesium und Chlorid gemessen. Das Ca/P-Verhältnis in allen Rationen lag zwischen 1,3:1 und 1,9:1. Zum Ansäuern der Rationen und zum Anpassen der Mineralstoffgehalte an den Bedarf der Ponys wurden folgende Substanzen verwendet: Methionin, Ammoniumchlorid, Natriumchlorid, Calciumsulfat, Ammoniumsulfat, Magnesiumchlorid und Calciumcarbonat. Die AKB wurde mit folgender Formel berechnet:

$$\begin{aligned} \text{AKB in mmol/kg Trockensubstanz (TS)} = \\ 49,9 \cdot \text{Ca} + 82,3 \cdot \text{Mg} + 43,5 \cdot \text{Na} + 25,6 \cdot \text{K} - 59 \cdot \text{P} - 28,2 \cdot \text{Cl} - 62,4 \cdot \text{S} \\ \text{(Konzentration der Mineralstoffe in g/kg TS)} \end{aligned}$$

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. In den heulastigen Rationen war es nicht möglich, den mittleren Harn-pH-Wert der Ponys unter 7,1 anzusäuern, während es in den haferlastigen Rationen zu einer deutlichen Absenkung des Harn-pH-Werts kam (Tab. 36).
2. Der arterielle Blut-pH-Wert zwei Stunden postprandial korrelierte straff negativ ($R^2 = 0,7$) mit der absoluten Menge an Ammoniumchlorid und den stark säuernden Substanzen (Ammoniumchlorid, Ammoniumsulfat und Methionin) in der Ration ($R^2 = 0,5$). Es gab keinen systematischen Effekt der AKB auf den Blut-pH-Wert und keine Korrelation mit den Harn-pH-Werten.

Tab. 36: Heu-/Haferverhältnis, AKB (mmol/kg TS) und mittlere Harn-pH-Werte

Ration		Heu-/Haferverhältnis [uS]	AKB	Harn-pH
Heu I/214	Kontrolle	77/23	214	7,20 ± 0,19
Heu I/86	Versuch	77/23	86	7,10 ± 0,11
Heu II/170	Kontrolle	77/23	170	7,54 ± 0,20
Heu II/-106	Versuch	77/23	-106	7,13 ± 0,24
Heu III/186	Kontrolle	83/17	186	7,37 ± 0,19
Heu III /-112	Versuch	83/17	-112	7,12 ± 0,30
Hafer I/233	Kontrolle	40/60	233	7,27 ± 0,09
Hafer I/-22	Versuch	40/60	-22	6,52 ± 0,15
Hafer II/214	Kontrolle	40/60	214	7,34 ± 0,17
Hafer II/-85	Versuch	40/60	-85	5,81 ± 0,36

3. Sowohl die scheinbaren als auch die wahren Phosphorverdaulichkeiten waren in den haferlastigen Rationen deutlich höher als in den heulastigen Rationen. Die scheinbare Verdaulichkeit von Natrium korrelierte negativ ($R^2 = 0,4$) mit der Gesamtmenge an Kot (TS), aber es gab keinen Zusammenhang zwischen der scheinbaren Na-Verdaulichkeit und der renalen Na-Ausscheidung. Die fäkale Ausscheidung von Kalium zeigte eine deutliche positive Abhängigkeit von der Kaliumaufnahme ($R^2 = 0,6$) und eine enge positive Korrelation ($y = 8,7994x - 10,024$; $R^2 = 0,9$) mit der Gesamtausscheidung an Kot (TS). Die renale K-Ausscheidung korrelierte ebenfalls straff positiv mit der K-Aufnahme ($R^2 = 0,96$). Auch die fäkale Chloridausscheidung korrelierte positiv ($R^2 = 0,8$) mit der Gesamtausscheidung an Kot (TS). Die Beziehung zwischen Cl-Aufnahme und renaler Cl-Ausscheidung war deutlich positiv ($R^2 = 0,6$).
4. Die renale Natriumausscheidung korrelierte negativ mit der AKB der Ration ($R^2 = 0,5$), ansonsten gab es keine systematischen Effekte der AKB auf den Mineralstoffhaushalt.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Hypothese von STÜRMER (2005) und KIENZLE et al. (2006) auch mit bilanzierten Rationen und ausgeglichenem Ca/P-Verhältnis bestätigt werden kann. Eine deutliche Ansäuerung des Harns der Ponys war nur mit haferlastigen Rationen möglich. Bei niedrigem Raufutter-/Krafftutterverhältnis gibt es beim Pferd einen vergleichbaren Zusammenhang zwischen der AKB der Ration und dem Harn-pH-Wert wie bei anderen monogastrischen Säugetieren.

7. Summary

Lisa Berchtold

Investigations on the influence of the cation-anion-balance on the mineral and acid-base metabolism in ponies

The purpose of the present investigation was to test whether the hypothesis, that the roughage/concentrate ratio considerably influences the stability of the acid base balance of horses (STÜRMER 2005, KIENZLE et al., 2006), can also be confirmed with balanced rations which have an adequate Ca/P ratio. For this purpose, mainly hay (HAY) and mainly oats (OATS) diets with a different cation-anion-balance (CAB) were fed to four adult ponies and the reaction on urinary pH, blood pH as well as on the renal and faecal excretion of calcium, phosphorus, sodium, magnesium, potassium and chloride was measured. The Ca/P ratio was between 1.3:1 and 1.9:1 in all rations. In order to acidify the rations and to accommodate the mineral contents to the requirements of the ponies following substances were used: ammonium chloride, sodium chloride, calcium sulphate, ammonium sulphate, magnesium chloride and calcium carbonate. The CAB was calculated as follows:

$$\begin{aligned} \text{CAB in mmol/kg dry matter (DM)} = \\ 49.9 \cdot \text{Ca} + 82.3 \cdot \text{Mg} + 43.5 \cdot \text{Na} + 25.6 \cdot \text{K} - 59 \cdot \text{P} - 28.2 \cdot \text{Cl} - 62.4 \cdot \text{S} \\ \text{(concentration of the minerals in g/kg DM)} \end{aligned}$$

The results were following:

1. In the HAY rations it was not possible to acidify the mean urinary pH of the ponies lower than 7.1, whereas there was a clear decrease of the urinary pH in the OATS diets (table 37).
2. Two hours after feeding the arterial blood pH correlated negatively ($R^2 = 0.7$) with the absolute amount of ammonium chloride and the strongly acidifying substances (ammonium chloride, ammonium sulphate and methionine) in the ration ($R^2 = 0.6$). The CAB showed no systematic effect on the blood pH and there was no correlation between blood pH and urinary pH.

Tab. 37: Hay/oats ratio, CAB (mmol/kg DM) and mean urinary pH

Ration		Hay/oats ratio	CAB	Urinary pH
HAY I/214	control	77/23	214	7,20 ± 0,19
HAY I/86	trial	77/23	86	7,10 ± 0,11
HAY II/170	control	77/23	170	7,54 ± 0,20
HAY II/-106	trial	77/23	-106	7,13 ± 0,24
HAY III/186	control	83/17	186	7,37 ± 0,19
HAY III /-112	trial	83/17	-112	7,12 ± 0,30
OATS I/233	control	40/60	233	7,27 ± 0,09
OATS I/-22	trial	40/60	-22	6,52 ± 0,15
OATS II/214	control	40/60	214	7,34 ± 0,17
OATS II/-85	trial	40/60	-85	5,81 ± 0,36

3. The apparent digestibility as well as the true digestibility of phosphorus was considerably higher in the OATS diets than in the HAY diets.

The apparent sodium digestibility correlated negatively ($R^2 = 0.4$) with the absolute amount of faeces (DM), but there was no relation between the apparent digestibility of sodium and the renal sodium excretion. The faecal excretion of potassium showed a positive dependency on the potassium intake ($R^2 = 0.6$) and a high positive correlation ($y = 8.7994x - 10.024$, $R^2 = 0.9$) with the total excretion of faeces (DM). The renal potassium excretion correlated positively with the potassium intake ($R^2 = 0.96$). The chloride excretion was also positively correlated with the absolute amount of faeces ($R^2 = 0.8$). There was a close positive relation between chloride intake and renal chloride excretion ($R^2 = 0.6$).

4. The renal sodium excretion correlated negatively ($R^2 = 0.5$) with the CAB of the ration. There were no further systematic effects of the CAB on the mineral metabolism.

The results suggest that the hypothesis of STÜRMER (2005) and KIENZLE et al. (2006) can also be confirmed with balanced rations which have an adequate Ca/P ratio. Only with OATS diets was it possible to acidify significantly the urine of the ponies. With a low roughage/concentrate ratio there was a comparable relation between the CAB of the ration and the urinary pH of horses as with other monogastric mammals.

Literaturverzeichnis**ARROYO LG, STÄMPFLI HR (2007)**

Equine renal tubular disorders
Vet Clin Equine, 23: 631-639

BAKER LA, TOPLIFF DR, FREEMAN DW, TEETER RG, BREAZILE JW (1992)

Effect of dietary cation-anion balance on acid-base status in horses
J Equine Vet Sci, 12: 160-163

BAKER LA, WALL DL, TOPLIFF DR, FREEMAN DW, TEETER RG, BREAZILE JE, WAGNER DG (1993)

Effect of dietary cation-anion balance on mineral balance in anaerobically exercised and sedentary horses
J Equine Vet Sci, 13: 557-561

BAKER LA, TOPLIFF DR, FREEMAN DW, TEETER RG, STOECKER B (1998)

The comparison of two forms of sodium and potassium and chloride versus sulfur in the dietary cation-anion difference equation: effects on acid-base status and mineral balance in sedentary horses
J Equine Vet Sci, 18: 389-395

BEHNSEN K (1992)

Einfluss der Fütterung auf pH-Wert und spezifisches Gewicht im Harn des Hundes
Vet Med Diss, Hannover

BRÜSSOW NAS (2006)

Effekte verschiedener Futtermittel und -bearbeitungsformen auf die Futteraufnahme, die Kaufrequenz und die Kauintensität beim Pferd
Vet Med Diss, Hannover

COENEN M (1991)

Chloridhaushalt und Chloridbedarf des Pferdes
Habil Schr, Hannover

COOPER SR, KLINE KH, FOREMAN JH, BRADY HA, FREY LP (1998)

Effects of dietary cation-anion balance on pH, electrolytes, and lactate in standardbred horses
J Equine Vet Sci, 18: 662-666

COOPER SR, TOPLIFF DR, FREEMAN DW, BREAZILE JE, GEISERT RD (2000)

Effect of dietary cation-anion difference on mineral balance, serum osteocalcin concentration and growth in weanling horses
J Equine Vet Sci, 20: 39-44

CROZIER JA, ALLEN VG, JACK NE, FONTENOT JP, COCHRAN MA (1997)
Digestibility, apparent mineral absorption, and voluntary intake by horses fed alfalfa, tall fescue, and caucasian bluestem
J Anim Sci, 75: 1651-1658

DUESTERDIECK-ZELLMER, KF (2007)
Equine urolithiasis
Vet Clin Equine, 23: 613-629

ECKERSALL PD (1984)
Equine whole saliva: a sample collection system and biochemical analysis
Vet Rec, 115: 437-438

GÄBEL G (2000)
Säure-Basen-Haushalt in: Engelhardt W u. Breves G (Hrsg.): Physiologie der Haustiere
Enke Verlag, Stuttgart

GOMDA, YM (1988)
Untersuchungen über die renale, fäkale und kutane Wasser- und Elektrolytauscheidung bei Pferden in Abhängigkeit von Fütterungszeit, Futtermenge sowie Bewegungsleistung
Vet Med Diss, Hannover

GRACE ND, ROGERS CW, FIRTH EC, FARAM TL, SHAW HL (2003)
Digestible energy intake, dry matter digestibility and effect of increased calcium intake on bone parameters of grazing Thoroughbred weanlings in New Zealand
N Z Vet J, 51: 165-173

GÜLDENHAUPT V (1979)
Verträglichkeit und Verdaulichkeit eines Alleinfutters für Pferde in Kombination mit Stroh
Vet Med Diss, Hannover

GÜRER C (1985)
Untersuchungen zum Kaliumstoffwechsel des Pferdes bei marginaler Versorgung und zusätzlicher Belastung
Vet Med Diss, Hannover

HARRINGTON JT, LEMANN J Jr. (1970)
The metabolic production and disposal of acid and alkali
Med Clin North Am, 54: 1543-1554

HARRIS P, COLLES C (1988)
The use of creatinine clearance ratios in the prevention of equine rhabdomyolysis: a report of four cases
Equine Vet J, 20: 459-63

HEILEMANN M, MEYER H, GOMDA Y, PEREZ NORIEGA H (1990)

Postprandialer Stoffwechsel von Natrium, Kalium und Chlor bei ruhenden und arbeitenden Pferden

Fortschr Tierphysiol Tierernährg, 21: 60-71

HINTZ HF, SCHRYVER HF (1972)

Magnesium metabolism in the horse

J Anim Sci, 35: 755-759

HINTZ HF, SCHRYVER HF (1973)

Magnesium, calcium and phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of magnesium

J Anim Sci, 37: 927-930

HINTZ HF, SCHRYVER HF (1976)

Potassium metabolism in ponies

J Anim Sci, 42: 637-643

HOIS C (2004)

Feldstudie zur Gewichtsentwicklung und Gewichtsschätzung beim wachsenden Pferd

Vet Med Diss, München

IZQUIERDO JV, CZARNECKI-MAULDEN GL (1991)

Effect of various acidifying agents on urine pH and acid-base balance in adult cats

J Nutr, 121 (11 Suppl): 89-90

KERR MG, SNOW DH (1982)

Alterations in haematocrit, plasma proteins and electrolytes in horses following the feeding of hay

Vet Rec, 110: 538-540

KIENZLE E (1989)

Untersuchungen zum Intestinal- und Intermediärstoffwechsel von Kohlenhydraten (Stärke verschiedener Herkunft und Aufbereitung, Mono- und Disaccharide) bei der Hauskatze (*Felis catus*)

Habil Schr, Hannover

KIENZLE E (1991)

Ernährung und Urolithiasis bei Haussäugetieren

Übersichten zur Tierernährung, 19: 157-200

KIENZLE E, SCHUKNECHT A, MEYER H (1991)

Influence of food composition on the urine pH in cats

J Nutr, 121: 87-88

KIENZLE E, WILMS-EILERS S (1994)

Struvite diet in cats: Effect of ammonium chloride and carbonates on acid base balance of cats

J Nutr, 124: 2652-2659

KIENZLE E, DOBENECKER B, EBER S (2001)

Effect of cellulose on the digestibility of high starch versus high fat diets in dogs

J Anim Physiol Anim Nutr , 85: 174-185

KIENZLE E, STÜRMER K, RANZ D, CLAUSS M (2006)

A high roughage/concentrate ratio decreases the effect of ammonium chloride on acid-base balance in horses

J Nutr, 136: 2048-2049

KRAFT W, DÜRR UM (2005)

Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin

Schattauer Verlag, Stuttgart, New York, 5. Auflage

KROHN, U (1993)

Beeinflussung des Säure-Basen-Haushalts von Zuchtsauen durch Futterzusätze

Vet Med Diss, Hannover

LANGENDORF H (1963)

Säure-Basen-Gleichgewicht und chronisch acidogene und alkalogene Ernährung

Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, Darmstadt

LEMANN J, LITZOW JR, LENNON EJ (1967)

Studies of the mechanism by which chronic metabolic acidosis augments urinary calcium excretion in man

J Clin Invest, 46: 1318-1328

LENNON EJ, LEMANN J, LITZOW JR (1966)

The effects of diet and stool composition on the net external acid balance of mineral subjects

J Clin Invest, 45: 1601-1607

LENSING AM (1998)

Eine Pilotstudie zum Einfluß der Fütterung auf Knochenmarker beim Pferd

Vet Med Diss, München

LIESEGANG A, BURGER B, KUHN G, CLAUSS M (2008)

Are intestinal calcium flux rate and bone metabolism influenced by dietary Ca concentrations in rabbits?

Proc 12th Congress of the ESVCN: 23

LINDNER A (1983)

Untersuchungen zum Natriumstoffwechsel des Pferdes bei marginaler Versorgung und zusätzlicher Bewegungsbelastung
Vet Med Diss, Hannover

MAIWALD E (1994)

Untersuchungen zum Ascorbinsäure-Stoffwechsel bei der Katze
Vet Med Diss, Hannover

MAREK J, WELLMANN O (1932)

Die Rachitis, Biochemischer Teil
Gustav Fischer Verlag, Jena

MCKENZIE EC, VALBERG SJ, GODDEN SM, PAGAN JD, CARLSON GP, MACLEAY JM, DELACORTE FD (2002)

Plasma and urine electrolyte and mineral concentrations in Thoroughbred horses with recurrent exertional rhabdomyolysis after consumption of diets varying in cation-anion balance
Am J Vet Res, 63: 1053-1060

MEYER H, AHLWEDE L, REINHARD H (1975)

Untersuchungen über Fressdauer, Kaufrequenz und Futterzerkleinerung beim Pferd
Dt. Tierärztl. Wschr., 82: 54-58

MEYER H (1980)

Na-Stoffwechsel und Na-Bedarf des Pferdes
Übersichten zur Tierernährung, 8: 37-64

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
Fortschr Tierphysiol Tierernährg, 13: 61-69

MEYER H, COENEN M, PROBST D (1986)

Futtereinspeichelung und -passage im Kopfdarm des Pferdes
J Anim Physiol Anim Nutr, 56: 171-183

MEYER H, STADERMANN B (1990)

Möglichkeiten zur Bestimmung der Mineralstoffversorgung des Pferdes durch Harnanalysen
Fortschr Tierphysiol Tierernährg, 21: 86-97

MEYER H, HEILEMANN M, PEREZ NORIEGA H, GOMDA Y (1990)

Postprandiale renale Ausscheidung von Calcium, Magnesium und Phosphor bei ruhenden und arbeitenden Pferden
Fortschr Tierphysiol Tierernährg, 21: 78-85

MEYER H, STADERMANN B, SCHNURPEL B, NEHRING T (1992)

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

J Equine Vet Sci, 12: 233-239

MEYER H, STADERMANN B, RADICKE S, KIENZLE E, NYARI A (1993)

Untersuchung zum Einfluss der Futterart auf Füllung und Zusammensetzung des Verdauungskanals sowie postprandiale Blut- und Harnparameter

Pferdeheilkunde, 9: 15-25

MEYER H, COENEN M (2002)

Pferdefütterung

Parey Verlag, Berlin, 4. Auflage

MUELLER RK, COOPER SR, TOPLIFF DR, FREEMAN DW, MACALLISTER C, CARTER SD (2001)

Effect of dietary cation-anion difference on acid-base status and energy digestibility in sedentary horses fed varying levels and types of starch

J Equine Vet Sci, 21: 498-502

MÜLLER-PLATHE O (1982)

Säure-Basen-Haushalt und Blutgase in: Bremer H, Büttner H, Stamm D (Hrsg.): Klinische Chemie in Einzeldarstellungen

Thieme Verlag, Stuttgart, 2.Auflage

NEHRING T (1991)

Einfluß der Futterart auf die Nettoabsorption von Calcium sowie Magnesium und Phosphor beim Pferd

Vet Med Diss, Hannover

PATIENCE JF, CHAPLIN RK (1997)

The relationship among dietary undetermined anion, acid-base balance and nutrient metabolism in swine

J Anim Sci, 75: 2445-2452

PESSINGER C (1996)

Untersuchungen zum Phosphor-Bedarf adulter Katzen

Vet Med Diss, München

POPPELWELL JC, TOPLIFF DR, FREEMAN DW, BREAZILE JE (1993)

Effects of dietary cation-anion balance on acid base balance and blood parameters in anaerobically exercised horses

J Equine Vet Sci, 13: 552-555

RALSTON SL, VAN DEN BROEK G, BAILE CA (1979)

Feed intake patterns and associated blood glucose, free fatty acid and insulin changes in ponies

J Anim Sci, 49: 838-845

RALSTON SL, FREEMAN DE, BAILE CA (1983)

Volatile fatty acids and the role of the large intestine in the control of feed intake in ponies

J Anim Sci, 57: 815-825

RALSTON SL, PUZIO C, CUDDEFORD D (1993)

Dietary carbohydrate, acid base status and urinary status and urinary calcium and phosphorus excretion in horses

Proc 13th Equine Nutr Physiol Symp, 13: 42-43

RALSTON, SL (1994)

The effect of diet on acid-base status and mineral excretion in horses

Equine Pract, 16: 10-13

REMILLARD RL, MODRANSKY PD, WELKER FH, THATCHER CD (1992)

Dietary management of cystic calculi in a horse

J Equine Vet Sci, 12: 359-363

SCHIELE K (2008)

Einfluss reduzierter Futterzuteilung zweier verschiedener Heuqualitäten auf Passagedauer und Verdaulichkeit bei Ponies

Vet Med Diss, München

SCHRAMME CS (2003)

Body Condition Scores und biometrische Daten zur Abschätzung des Körpergewichts bei Warmblutpferden

Vet Med Diss, München

SCHRYVER HF, HINTZ HF, CRAIG PH (1971a)

Calcium metabolism in ponies fed a high phosphorus diet

J Nutr, 101: 259-264

SCHRYVER HF, HINTZ HF, CRAIG PH (1971b)

Phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of phosphorus

J Nutr, 101: 1257-1264

SCHUKNECHT A (1991)

Untersuchungen zum Einfluß der Fütterung auf den Harn-pH-Wert und die renale Mineralstoffausscheidung bei der Katze

Vet Med Diss, Hannover

SCHWARZER, U, ZEYNER A, FÜRLL M (1997)

Untersuchungen zum Einfluss oraler NaCl-Gaben auf den Säure-Basen-Haushalt und die renale Mineralstoffexkretion beim Pferd

Proc Soc Nutr Physiol, 6: 130

STADERMANN B, MEYER H, NEHRING T (1992)

Calcium- und Magnesiumabsorption bei Rauhfutter und Mischfutter

Pferdeheilkunde, Sonderheft: 77-80

STEIN, S VOM (1985)

Untersuchungen über die faecale und renale N-Abgabe beim Pferd nach Fütterung N-armer Rationen
Vet Med Diss, Hannover

STUTZ WA, TOPLIFF DR, FREEMAN DW, TUCKER WB, BREAZILE JW, WALL DL (1992)

Effect of dietary cation-anion balance on blood parameters in exercising horses
J Equine Vet Sci, 12: 164-167

STÜRMER K (2005)

Untersuchungen zum Einfluss der Fütterung auf den Säure-Basen-Haushalt bei Ponys
Vet Med Diss, München

TELEB H (1984)

Untersuchungen über den intestinalen Ca-Stoffwechsel beim Pferd nach variierender Ca-Zufuhr und einer Oxalatzulage
Vet Med Diss, Hannover

TOPLIFF DR, KENNERLY MA, FREEMAN DW (1989)

Changes in urinary and serum calcium and chloride concentrations in exercising horses fed varying cation-anion balances
Proc 11th Equine Nutr Physiol Symp: 1-2

WALL DL, TOPLIFF DR, FREEMAN DW, WAGNER DG, BREAZILE JW, STUTZ WA (1992)

Effect of dietary cation-anion balance on urinary mineral excretion in exercised horses
J Equine Vet Sci, 12: 168-171

WALLER A, ARMSTRONG S, SMITHURST K-J, LINDIGER MI (2004)

Effects of diet, feeding and daily variation on acid-base balance in horses
Equine and Comparative Exercise Physiology, 1: 153-165

WEIDENHAUPT K (1977)

Untersuchungen zum Kaliumstoffwechsel des Pferdes
Vet Med Diss, Hannover

WILMS-EILERS S (1992)

Einfluß von Ammoniumchloridzulagen auf den Säure-Basen- und Mineralstoffhaushalt der Katze
Vet Med Diss, Hannover

WOOD T, WECKMANN TJ, HENRY PA, CHANG S-L, BLAKE JW, TOBIN T (1990)

Equine urine pH: normal population distributions and methods of acidification
Equine Vet J, 22: 118-121

ZEYNER A, ROMANOWSKI K, MÜLLER A-M, VERNUNFT A, KANITZ W, WOLF C, KIENZLE E, HARRIS P (2008)

Effects of different doses of sodium chloride on the acid-base balance of horses
Proc 12th Congress of the ESVCN: 29

ZMIJA G (1991)

Fütterungspraxis bei Galopp- und Trabrennpferden
Vet Med Diss, Hannover

Danksagung

Bei *Frau Prof. Ellen Kienzle* bedanke ich mich herzlich für die Überlassung des Themas und ihre freundliche und kompetente Unterstützung bei der Fertigstellung der Arbeit.

Ein großes Dankeschön an *Dr. Natalie Dillitzer* für die kompetente Betreuung, ihre freundliche Hilfsbereitschaft und ihre immer wieder motivierenden Worte.

Bei *Gabi Reder* möchte ich mich besonders bedanken: Ihre Erfahrung und ihr Pferdesachverstand haben die praktische Versuchsdurchführung sehr erleichtert.

Danke an *Adrian Frille* für die Überlassung des Wohnwagens in den Bilanzphasen und allen *Tierpflegern am OWF* für ihre Hilfsbereitschaft und das angenehme Arbeitsklima.

Allen *Mitarbeitern im Labor*, besonders *Werner Hesselbach* danke ich für ihre Unterstützung und wertvollen Ratschläge während der Laboranalysen.

Des Weiteren danke ich allen *Assistenten, Mitarbeitern und Mitdoktoranden am Lehrstuhl* für die angenehme Zeit.

Bei der *Firma Siemens Diagnostics*, insbesondere bei *Herrn Sauermann* möchte ich mich für die kostenlose Bereitstellung des Blutgasgerätes bedanken.

Der *H. Wilhelm Schaumann Stiftung* danke ich für das Sachmittelstipendium.

Meinen Eltern danke ich sehr, dass sie mir das Studium und die Doktorarbeit ermöglicht haben. Ein großes Dankeschön gebührt auch meinen Brüdern *Mike* und *Ralf* für die Hilfe mit dem Computer und bei der Formatierung, sowie meiner Schwester *Maria* fürs Korrekturlesen.

Von Herzen danke ich auch meinen Freunden (*Dine, Dany & Stefan, Christian, Caro & Timo* und *Mikey*) für ihr Verständnis und das Vertrauen in mich. Danke, dass ihr immer für mich da seid!

Von ganzem Herzen danke ich *Michi* für seine Unterstützung und sein großes Vertrauen in mich!

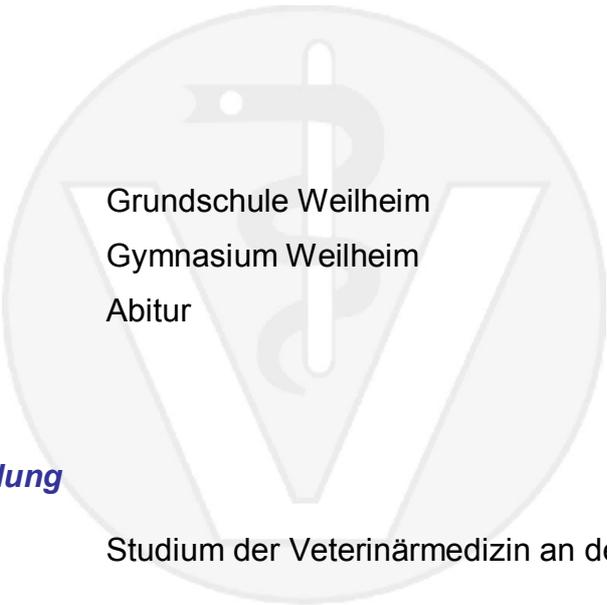
Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Lisa Berchtold
Geburtsdatum: 15.10.1980
Geburtsort: Weilheim i. OB
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung

1987 - 1991
1991 - 2000
06/2000



Grundschule Weilheim
Gymnasium Weilheim
Abitur

Hochschulausbildung

2000 - 2006
02/2006
2006 - 2009

Studium der Veterinärmedizin an der LMU München
Approbation als Tierärztin
Anfertigung der vorliegenden Arbeit am Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik der LMU München

Berufliche Tätigkeiten

2006 - 2008
Seit 06/2008

Regelmäßige Vertretung in einer Kleintierpraxis
Teilzeitassistentin in einer Gemischtpraxis