

5 DISKUSSION

5.1 Labmagenfistel

Das Verfahren des chirurgischen Einsetzens der Labmagenfistel erwies sich bei den eigenen Versuchstieren als komplikationslos. Die Schnittführung zur Laparotomie erfolgte in der linken Flanke paracostal zur letzten Rippe. Weitere chirurgische Zugänge zum Labmagen von Kälbern waren auch in der rechten Paramedianebene (Ahmed *et al.*, 2005), paracostal der letzten Rippe auf der rechten Seite (Dougherty, 1955; Alonso *et al.*, 1973; Komarek, 1981), in der ventralen Mittellinie (Rupp *et al.*, 1994) oder auch in der linken Hungergrube möglich (Stewart und Nicolai, 1964). Der Zugang zum Labmagenlumen soll möglichst in einer gefäßarmen Region zwischen großer und kleiner Krümmung liegen (Driedger *et al.*, 1970; Alonso *et al.*, 1973; Woodford *et al.*, 1987). Die korrekte Positionierung der Plastfistel in das Abomasum konnte bei den eigenen Versuchstieren durch Vorverlagerung von Labmagenwandanteilen unter Sichtkontrolle durchgeführt werden. Dabei hat die Platzierung der Plastfistel im Labmagen und damit der Ort der Probenentnahme (Cardia-, Fundus- oder Pylorusregion) keinen signifikanten Einfluß auf die intraabomasalen pH-Werte im nüchternen Zustand sowie nach der Nahrungsaufnahme (Ahmed *et al.*, 2001). Gegenüber den Operationen von Ahmed (2005) dauerte der chirurgische Eingriff ohne Berücksichtigung der Zeit der Operationsvorbereitung und Narkoseeinleitung im Mittel etwa 35 min.

In Übereinstimmung mit vorausgegangenen Berichten wurde die Plastfistel von den Versuchskälbern problemlos toleriert (Woodford *et al.*, 1987; Ahmed *et al.*, 2002; Ahmed *et al.*, 2005). Auch während des gesamten Untersuchungszeitraumes trat bei den Versuchstieren keine Krankheitsanzeichen wie Fieber, abdominale Schmerzen oder Appetitlosigkeit auf.

Mit Hilfe einer Plastfistel aus flexiblem Material und einem Kunststoffnetz, das zwischen Labmagenwand und parietalem Peritoneum um den Plastfistelkanal platziert wurde, konnte ein Herausfallen der Plastkonstruktion und Auslaufen von Labmageninhalt unterbunden werden (Driedger *et al.*, 1970; Woodford *et al.*, 1987). Ein Beweis für die gute Funktionalität dieser Methode war die außerordentlich lange Haltbarkeit dieser Konstruktion von bis zu zwei Jahren, wie in den Untersuchungen von Alonso *et al.* (1973) festgestellt wurde.

Im Gegensatz zu den Untersuchungen von Driedger *et al.* (1970) und Woodford *et al.* (1987) wurden in den eigenen Untersuchungen etwa 10-12 Tage nach dem operativen Einsetzen der Plastfistel ohne das oben beschriebene Kunststoffnetz geringgradige Undichtigkeiten am Fistelkanal gefunden. Unmittelbar nach der Tränkung und bei Einsatz der Bauchpresse sickerten geringe Mengen Labmageningesta aus der Fistelöffnung. Da die Versuchskälber nach Beendigung des Versuchszeitraumes von etwa 2-3 Wochen euthanasiert wurden,

konnte die Beständigkeit der Fistelkonstruktion über einen längeren Zeitraum nicht untersucht werden.

Bei zwei Versuchskälbern wurde im Anschluss an die Euthanasie eine pathologische Sektion durchgeführt. In Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Ahmed (2005) wurden ebenfalls feste breitflächige Verklebungen zwischen der Serosa des Abomasum sowie des parietalen Peritoneum festgestellt. Das umliegende Gewebe um den Fistelkanal zeigte kleine fokale eitrige Herde und es waren derbe Zubildungen mit Granulationsgewebe erkennbar.

Fazit:

Die Position der PVC-Fistel in der linken Flanke des Kalbes erwies sich als sehr gut geeignete Stelle zur problemlosen Probenentnahme von Ingesta aus dem Labmagen. Nach 10-12 Tagen traten geringe Undichtigkeiten am Fistelkanal auf, die möglicherweise auf das Weglassen eines Kunststoffnetzes zurückzuführen ist.

5.2 Intraluminale Verhältnisse im Labmagen

Eine Aufgabe meiner Untersuchungen war es, den Fütterungseinfluss von Milch und unterschiedlich zusammengesetzten Diättränken auf die intraluminalen Zustände des Labmagens bei Kälbern zu prüfen. Insbesondere war von Interesse, inwieweit die unterschiedliche Fütterung der Tiere den intraluminalen pH-Wert verändert. Bekanntlich nimmt die intraluminale Protonenaktivität entscheidenden Einfluss auf die im Labmagen notwendige Gerinnung der Milchproteine sowie auf die anschließende Verdauung der proteinären Gerinnungsprodukte (Naylor, 1999; Nappert und Spennick, 2003a; Rademacher, 2003).

5.2.1 pH-Wert im Labmagen

Die intraabomasal gemessenen pH-Werte im nüchternen Zustand sind in den Untersuchungen von Ahmed (Ahmed *et al.*, 2001; Ahmed *et al.*, 2002) mit durchschnittlich 1,4 angegeben. Im Labmagensaft von Milchkälbern, die ausschließlich mit Kuhmilch getränkt wurden, konnte ein mittlerer Nüchtern-pH von 1,36 gemessen werden (Constable *et al.*, 2005). Niedrigere Werte von pH=1,27 wurden nur noch bei Kälbern ermittelt, die mit einer Mischtränke aus Kuhmilch und einem Milchaustauscher mit Soja-Protein gefüttert wurden (Constable *et al.*, 2005). Während einer 24-stündigen Nahrungskarenz waren die pH-Werte in den Labmagingesta im Mittel bei 1,73 und blieben während dieses Zeitraumes konstant unter pH=2,0 (Ahmed *et al.*, 2002). In Untersuchungen zur Sekretion von Labmagensaft wurde über einen Zeitraum von 8 Stunden abomasale Ingesta aufgefangen und ein mittlerer Nüchtern-pH-Wert von 1,6 gemessen (Williams *et al.*, 1976).

So wurden auch in den eigenen Untersuchungen nüchterne pH-Werte im Labmagensaft von <2,0 gemessen. Sie lagen im Mittel bei 1,97. Der niedrigste pH, der in den Labmagingesta messbar war, betrug 1,07.

Die Tränkung mit Milch bewirkte im Labmagen eine sofortige basische Auslenkung des intraluminalen pH. Bei den Kälbern der eigenen Studie lag der höchste postprandiale pH bei der Tränkung mit Milch im Mittel bei etwa 4,5. Diese postprandiale basische Auslenkung des intraabomasalen pH war nach 4 h noch nicht vollständig beendet, so dass zu diesem Zeitpunkt der Ausgangs-pH noch nicht wieder erreicht war. Dieses postprandiale Verhaltensmuster des intraluminalen pH im Labmagen der Kälber entsteht durch die Verabreichung der Milch mit einem positiven [SID₃] von + 31 mmol/l, die die starke Azidität des Labmagensaftes im Nüchternzustand vorübergehend mindert. Diese Veränderung wird durch die deutliche Zunahme der sauren SID₃-Werte in den Labmagingesta vom Ausgangswert -64 ± 25 mmol/l auf postprandial -8 ± 11 und später -19 ± 10 mmol/l gestützt. Die Untersuchungen von Constable (2005) zeigten einen maximalen pH-Anstieg auf 6,07 nach der Verabreichung von Milch und die intraluminalen pH-Werte erreichten ihr Ausgangsniveau erst wieder nach sechs Stunden.

Nachdem die Milch den Labmagen erreicht hat, beginnen die Verdauungsvorgänge mit unter anderem verstärkter HCl-Bildung. Diese Säuresekretion führt zu einem kontinuierlichen Absinken des intraabomasalen pH bis der saure Ausgangs-pH wieder erreicht ist. Mit Hilfe der Berechnung der AUC der pH-Wertkurven konnte die basische Auslenkung des Labmagen-pH entsprechend quantifiziert werden und betrug für die Milchtränke 912 ± 77.

Die Verabreichungen der bikarbonatfreien Diättränken A und B führten postprandial im Labmagen zu höheren Auslenkungen des pH-Wertes gegenüber der Milchtränke während des gesamten Untersuchungszeitraumes von vier Stunden. Diese Ergebnisse werden durch die signifikant erhöhten AUC-Werte von 1166 ± 17 für Tränke A und 1108 ± 89 für Tränke B belegt. Die intraabomasal gemessenen pH-Werte lagen im Mittel um etwa 0,5 - 1,5 höher als die nach der Fütterung von Milch festgestellten Messwerte. Möglicherweise ist die [SID₃] für dieses Verhalten verantwortlich. Die [SID₃] der Tränken A und B haben mit 68 bzw. 66 mmol/l einen fast doppelt so hohen Wert wie die [SID₃] der Milch (31 mmol/l) und weisen daher einen höheren Gehalt an Basenäquivalenten auf. Daher wurden im Anschluss an die Fütterung von Tränke B die Befunde für [SID₃] in den Labmagingesta mit +51 ± 16 bzw. +39 ± 21 vorübergehend stärker in den basischen Bereich verschoben. Diese verstärkte Alkalisierung der Labmagingesta nach Fütterung von bikarbonatfreier Diättränke wird durch den höheren Anteil der stark basischen Na⁺-Ionen verursacht, die letztendlich zu einem Anstieg der [SID₃]-Werte führte.

Das langsame und gleichmäßige Absinken des Labmagen-pH bei Tränke A und B ähnelte dem Kurvenverlauf der Milchtränke. Die vermutliche Ursache für diesen fast parallelen Kurvenverlauf ist die Art der Zubereitung der Tränke. Beide bikarbonatfreien Diättränken wurden in Kuhmilch gelöst und anschließend an die Kälber verabreicht.

Die Zufuhr von bikarbonathaltigen Diättränken sowie ihrer Mischungen aus Diättränke und Milch im Verhältnis 1:1 führte bei den Versuchskälbern zu abweichenden postprandialen Kurvenverläufen des Labmagen-pH (s. Abb.: 13-17). Die Elektrolyttränken mit Bikarbonat führen direkt nach der Tränkung zu weitaus höheren pH-Werten im Labmagen. Bis zu 120 min postprandial lagen die Werte für pH fast im Neutralbereich zwischen 6 und 7. Diese Beobachtungen gleichen den Ergebnissen von Constable (Constable, 2002a). Die höchste Auslenkung des intraabomasalen pH-Wertes war bei Tränke E mit $6,71 \pm 0,1$ ($\bar{x} \pm s$) feststellbar. Die $[SID_3]$ der Tränken mit Bikarbonat lagen zwischen 46 und 67 mmol/l.

Die Fütterungen von Mischtränken aus Milch und Diättränke C bzw. D führten ebenfalls zu höheren pH- Auslenkungen im Labmagen gegenüber der Milchtränke. Es werden jedoch nicht so hohe pH-Werte wie bei den jeweiligen Diättränken, die in Wasser verabreicht wurden, erreicht. Die Kurvenverläufe von Mischtränke C und D zeigten ein zügiges Absinken der pH-Werte ab einem Zeitpunkt von etwa 150 min postprandial. Die Ausgangs-pH-Werte werden damit früher erreicht. Die $[SID_3]$ der beiden Mischtränken lag mit 39 bzw. 49 mmol/l über den Werten der Milch.

Die Fütterungen der bikarbonathaltigen Diättränken C, D und E sowie die beiden Mischtränken aus Milch und Tränke C bzw. D führten nach dem Erreichen ihrer pH-Maxima zu einem schnelleren Absinken der intraabomasalen pH-Werte gegenüber dem pH-Verlauf von Milchtränke bzw. Tränke A und B. Etwa drei Stunden nach der Fütterung der Tränken mit Bikarbonat lagen die pH-Werte in den Labmagingesta unterhalb derer von Milchtränke und den Tränken ohne Bikarbonat. Im Einzelfall wurden vier Stunden nach der Fütterung die Ausgangswerte für pH sogar unterschritten. Ursache für diesen veränderten postprandialen Verlauf des Labmagen-pH könnte die stärkere basische Auslenkung in den Labmagingesta durch Fütterung von bikarbonathaltiger Diättränke sein, die eine intensivere hormongesteuerte Bildungsrate von HCl nach sich zieht. Eine Beobachtung, die diese Annahme stützt, ist die gleichzeitige, relativ deutliche basische Reaktion im Blut der Tiere. Außerdem führt die Verabreichung von in Wasser zubereiteten Elektrolyttränken zu einer verkürzten Transitzeit der Ingesta im Gegensatz zur Milchtränke. Aufgrund dieser Beobachtung ist es möglich, dass die mit Wasser angefertigten Elektrolytlösungen im Vergleich zur Milch zeitlich früher an den Ort ihrer Absorption in den Dünndarm gelangen.

Gelangt bikarbonathaltige Flüssigkeit in das Duodenum von Kälbern, so wird die Entleerung des Labmagens intensiv stimuliert (Bell und Mostaghni, 1975). Diese Beobachtung einer schnelleren Labmagenentleerung deckt sich mit den eigenen Ergebnissen. Die unterschiedlichen zeitlichen Kurvenverläufe des Labmagen-pH nach Gabe von bikarbonathaltigen Diättränken führten zu signifikant höheren Werten für AUC gegenüber der Milchtränke. Es waren jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den bikarbonathaltigen Diättränken und denen ohne Bikarbonat erkennbar. Bei Betrachtung dieser Ergebnisse wird deutlich, dass der Gehalt an HCO_3^- -Ionen in einer Elektrolyttränke offensichtlich keine Voraussagen zum zeitabhängigen postprandialen Verlauf des Labmagen-pH erlaubt.

Die Entleerung des Labmagens wird u.a. durch die Osmolalität der Ingesta beeinflusst (Phillips, 1985; Nappert und Spennick, 2003a). Anhand der pH-Wertkurven der eigenen Studie ist erkennbar, dass die Labmagenentleerung nach der Verabreichung der Diättränken A und B scheinbar verlangsamt ist, da 4 h postprandial der Ausgangs-pH noch nicht erreicht war. Da die Elektrolyttränken A und B eine Osmolalität > 600 mosmol/kg aufweisen (Tränke A: 647 mosmol/kg und Tränke B: 620 mosmol/kg), könnte das ein Grund für die Verlangsamung der abomasalen Entleerungsrate sein. Die beobachteten Veränderungen bestätigen die Ergebnisse aus vorangegangenen Untersuchungen weiterer Autoren {Smith, 1964; Bell und Razig, 1973a; Bell und Razig, 1973; Constable, 2005}. Eine verlangsamte Labmagenentleerung hat zur Folge, dass auch die aufgenommene Tränke nur langsamer in den Dünndarm übertritt (Sen *et al.*, 2006). Für stark dehydratisierte Kälber ist dieser Umstand eher ungünstig, da die Flüssigkeitsabsorption im Darmkanal möglichst schnell erfolgen soll.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die intraabomasale Protonenkonzentration ist die Fütterungsfrequenz. Die Untersuchungen von Ahmed *et al.* (2002) haben gezeigt, dass eine Erhöhung der Anzahl von Mahlzeiten pro Tag den pH-Wert im Labmagen verändert. Bei 8-maligen Tränken pro Tag sank der intraabomasale pH-Wert nicht mehr so stark in den sauren Bereich ab. Auch die maximale Auslenkung des Labmagen-pH fiel unmittelbar nach der Tränkung geringer aus. In den eigenen Untersuchungen wurde 3 mal am Tag getränkt (08:00, 14.00 und 22.00 Uhr). Dieses Tränkeregime entspricht weitestgehend der Handhabung in der industriellen Kälberaufzucht und unterscheidet sich aber von den natürlichen Gegebenheiten in der Mutterkuhhaltung, wo das Kalb die Milch ad libitum aufnehmen kann.

Der saure Labmagensaft stellt eine natürliche Barriere für die mit der Nahrung aufgenommenen Erreger, z. B. *Salmonella spp.*, dar. Intraabomasale saure pH-Werte führen zur Abtötung von oral aufgenommenen Erregern. Einige Studien belegten, dass bestimmte Mengen an organischen Säuren, wie Acetat, Propionat oder Butyrat, das Wachstum von

Salmonellen hemmen kann (Bohnhoff *et al.*, 1964; Cherrington *et al.*, 1991; Zhu *et al.*, 2006). Die bakteriostatische Wirkung der relativ sauren Labmageningesta kann somit die Inzidenz der Diarrhöe verringern (Hand *et al.*, 1985; Woodford *et al.*, 1987).

Der saure Labmageninhalt wird im Laufe der Verdauung in den vorderen Abschnitt des Duodenums transportiert. Dort begünstigt das relativ saure Milieu die Vermehrung von Laktobacillen (Constable, 2002a). Die Laktobacillen können die Anheftung sowie Vermehrung enterotoxischer Bakterien, wie *E. coli*, verringern (Francis *et al.*, 1982). Außerdem vermindert die saure Ingesta im proximalen Duodenum die Produktion von hitzestabilen Enterotoxinen (Sta) (Mitchell Ide *et al.*, 1974). Aufgrund dieser Kenntnisse lässt sich vermuten, dass sich eine Auslenkung des Labmagen-pH bis in den basischen Bereich über einen längeren Zeitraum ungünstig auf die Abtötung oral aufgenommener Keime auswirkt. Die Verabreichung der bikarbonathaltigen Diättränken C und E führte über einen Zeitraum von 2 h zu neutralen pH-Werten in den Labmageningesta und würde damit möglicherweise eine ungehinderte Passage von Erregern vom Abomasum in den proximalen Dünndarm begünstigen.

Fazit:

ORT sowie Mischtränken aus Milch und Elektrolyttränken führen nach ihrer Aufnahme durch das Kalb zu stärkeren Auslenkungen des intraabomasalen pH-Wertes bis in den basischen Bereich. Für die Beurteilung der unterschiedlich zusammengesetzten Elektrolyttränken hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den Labmagen-pH erwies sich die Bestimmung der Area under curve (AUC) als geeignete Methode, da die einzelnen pH-Werte in den Labmageningesta zeitunabhängig untereinander verglichen werden konnten. Eine Auslenkung des intraabomasalen pH-Wertes bis in den basischen Bereich über einen länger anhaltenden Zeitraum kann die Infektabwehr im Labmagen möglicherweise beeinträchtigen.

5.2.2 Elektrolyte im Labmagen

In den Untersuchungen von Williams *et al.* (1976) wurden in der Labmagensaftsammelprobe die Konzentrationen für drei Elektrolyte ermittelt. Bei einem pH=1,6 lagen folgende Messwerte vor: $[Na^+] = 35,0 \text{ mmol/l}$, $[K^+] = 11,8 \text{ mmol/l}$ und $[Cl^-] = 117,4 \text{ mmol/l}$. Die Konzentrationen für die aufgeführten Elektrolyte liegen bei den eigenen Untersuchungen geringgradig höher. So wurden Mittelwerte für $[Na^+] = 42,7 \text{ mmol/l}$, $[K^+] = 20,6 \text{ mmol/l}$ und $[Cl^-] = 130,3 \text{ mmol/l}$ gefunden (s. Abb.: 18). Bei den Versuchstieren meiner Studie lässt sich im Labmagensaft, wie auch bei den Untersuchungen von Williams *et al.* (1976), eine $[SID_3]$ von etwa -70 mmol/l errechnen. Diese negative $[SID_3]$ resultiert aus dem zu diesem Zeitpunkt quantitativ überwiegenden Anteil der stark sauren Cl^- -Ionen gegenüber der stark basischen

Na⁺- und K⁺-Ionen. Die Tränkung mit normaler Kuhmilch bewirkte im Labmagen eine sofort einsetzende und zwei Stunden postprandial noch nicht vollständig beendete basische Auslenkung der intraabomasalen [SID₃]. Die deutliche Abnahme der sauren Werte für [SID₃] in den Labmagingesta vom Ausgangswert -61 mmol/l auf 1 h postprandial -6 mmol/l und 2 h postprandial -16 mmol/l stützen die Aussage, dass die Zufuhr von Milch mit positivem [SID₃] von 31 mmol/l die starke Azidität der abomasalen Ingesta im Nüchternzustand vorübergehend vermindert. Die Zufuhr der Diättränke B bewirkte im postprandialen Zeitraum einen Anstieg der [SID₃]-Werte der Labmagingesta von -68 mmol/l (nüchtern) bis in den positiven Bereich auf 48 mmol/l (1 h pp) bzw. 35 mmol/l (2 h pp). Das im Vergleich zur Milchtränke veränderte Reaktionsmuster der intraabomasalen [SID₃]-Werte kommt zustande, weil die [SID₃] der Diättränke B mit 66 mmol/l mehr Basenäquivalente aufweist. Die Ursache für die stärkere Alkalisierung der Labmagingesta ist der höhere Anteil der stark basischen Na⁺-Ionen in der Tränke B, der letztlich zu einem Anstieg der [SID₃]-Werte führt.

Fazit:

Anhand des pH-Wertes in der Tränke kann nicht auf die Auslenkung des Labmagen-pH geschlossen werden. Höhere SID₃-Werte in den Diättränken führen gegenüber der normalen Milchtränke mit [SID₃]= 31 mmol/l zu höheren Auslenkungen des intraabomasal gemessenen pH-Wertes. Allein vom Gehalt der HCO₃⁻-Ionen in Elektrolytlösungen kann keine sichere Aussage über die zeitabhängigen postprandialen Veränderungen des Labmagen-pH gemacht werden.

5.3 Wirkung von Milch und unterschiedlich zusammengesetzten Diättränken auf den Säuren-Basen-Haushalt

Die Auswirkungen der verabreichten Milch sowie Diättränken auf den systemischen SBS waren insgesamt gering. Die Fütterung von Milch bzw. unterschiedlich zusammengesetzten Elektrolyttränken verursachten nach ihrer Verabreichung teilweise alkalische Veränderungen im Blut der Kälber, die u.a. durch Anstiege des venösen Blut-pH, [BE] und [HCO₃⁻] nachgewiesen wurden. Die beobachteten Veränderungen bestätigen die Ergebnisse anderer Autoren, die die Wirksamkeit von verschiedenen Elektrolyttränken im Blut bei durchfallkranken Kälbern untersuchten (Booth und Naylor, 1987; Dupe *et al.*, 1989; Michell *et al.*, 1992; Sadiq und Schlerka, 1996; Constable *et al.*, 2001).

Während der postprandial verstärkt einsetzenden HCl-Bildung im Labmagen (s. Abb.: 4) werden mit jedem nach luminal sezernierten H⁺-Ion gleichzeitig ein HCO₃⁻-Ion nach subepithelial ins Blut abgegeben. Letztere führen im Blut zur sogenannten „basischen Flut“

und bewirken dort eine alkalische Auslenkung der SBS-Parameter. Die vorübergehend anflutenden HCO_3^- -Ionen gelangen zeitversetzt über das Pankreassekret in das Duodenum, um dort die ankommenden sauren Mageningesta zu neutralisieren.

5.3.1 Henderson- Hasselbalch- Parameter

pH-Wert im Blut:

Die Milchtränke löste nach ihrer Verabreichung an die Versuchskälber keine signifikanten Veränderungen im Blut-pH aus (Tab. 23). Die Fütterung der Diättränken A, B und E führten zu signifikanten Anstiegen der durchschnittlichen pH-Werte im arteriellen sowie venösen Blut (Tab. 24, 25 und 28). Nach der Verabreichung der Diättränke D sowie der Mischtränke aus Milch und Diättränke D kam es nur im arteriellen Blut zu signifikanten Anstiegen des pH (Tab. 27). Nach der Tränkung der Elektrolyttränke C sowie ihre Mischung mit Milch waren keine signifikanten Veränderungen im Blut-pH erkennbar (Tab. 26). Der Gehalt an HCO_3^- -Ionen hat scheinbar keinen nachweisbaren Einfluss auf die Auslenkung des Blut-pH, da die bikarbonatfreien Diättränken A und B sowie die bikarbonathaltige Tränke E postprandial eine gleichermaßen basische Veränderung im Blut verursachten. Ähnliche Resultate erzielten auch andere Autoren nach der Tränkung mit unterschiedlich zusammengesetzten Diättränken an durchfallkranke Kälber (Booth und Naylor, 1987; Michell *et al.*, 1992; Constable *et al.*, 2001). Außerdem wurde im Blut der Kälber dieser Studie festgestellt, dass die Tränke mit Bikarbonat eine geringgradig höhere Auslenkung des Blut-pH als die bikarbonatfreie Diättränke auslöst. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von Booth und Naylor (1987). Bezüglich der $[\text{SID}_3]$ in der Diättränke der eigenen Fütterungsversuche, bewirken die Tränken mit einer $[\text{SID}_3] \geq 60 \text{ mmol/l}$ signifikante Anstiege des arteriellen sowie venösen Blut-pH.

Base Excess im Blut:

Der Blut-[BE] als metabolische Komponente des systemischen SBH kann durch die orale Gabe von Elektrolyttränken beeinflusst werden. Die in der Tränke enthaltenen Basenäquivalente führen nach oraler Zufuhr über die Tränke zur Zunahme des Gehaltes an Pufferbasen im Blut. Mit Ausnahme der Milchtränke und der Diättränke C stiegen nach der Fütterung von den verwendeten Elektrolyttränken der arterielle sowie venöse Blut-[BE] der Versuchskälber signifikant an. Diese Beobachtung gleicht den Ergebnissen der Untersuchungen anderer Autoren (Booth und Naylor, 1987; Dupe *et al.*, 1989; Constable *et al.*, 2001). Abweichend von den eigenen Untersuchungsergebnissen, wurden die dort beschriebenen Anstiege für [BE] erst nach mehreren Stunden bzw. Tagen festgestellt. Wie auch bereits von Booth und Naylor festgestellt wurde, steigen die [BE]-Werte im Blut bei

Tränkung mit bikarbonathaltigen Diättränken geringgradig höher an als nach der Verabreichung bikarbonatfreier Diättränken (Booth und Naylor, 1987).

[HCO₃⁻] im Blut:

Während der Labmagenverdauung gelangen HCO₃⁻-Ionen infolge der Erniedrigung der Blut-[Cl⁻] in das vom Labmagen abströmende venöse Blut. Sowohl die Verabreichung von bikarbonatfreien Diättränken als auch die Tränken ohne Bikarbonat führten zu signifikanten Anstiegen der [HCO₃⁻] im venösen und teilweise im arteriellen Blut der Kälber. Die Milchtränke und die Mischtränke aus Milch und Elektrolyttränke C hatten keine Auswirkungen auf den Bikarbonatgehalt im Blut.

PCO₂ im Blut:

Der PCO₂ charakterisiert die respiratorische Komponente des systemischen SBH. Die unterschiedlich zusammengesetzten Elektrolyttränken haben nach ihrer oralen Aufnahme nachweislich keinen Einfluss auf den PCO₂ im Blut der Kälber. Die Befunde für PCO₂ vor sowie nach der Fütterung lagen ungeachtet von der Art der Tränke in ihrem Referenzbereich. Der venöse PCO₂ lag im Vergleich zum arteriellen PCO₂ geringgradig höher. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von Slanina et al. (1992). Eine erhöhte Produktion von CO₂ war nach der Verabreichung der Milch bzw. der Diättränken nicht zu erwarten. Da es sich bei den eigenen Untersuchungen um lungengesunde Tiere handelte, war zu jeder Zeit eine adäquate pulmonale Exkretion von CO₂ gegeben.

Fazit:

Durchfallkranke Kälber leiden oft an einer metabolischen Azidose. Eine Beibehaltung der Milchfütterung bei diesen Kälbern hat keinen nachweisbaren Effekt auf den systemischen SBS. Die orale Verabreichung von Elektrolyttränken bzw. Milch gemischt mit Elektrolyttränken verursacht geringe, aber nachweisbare Veränderungen im SBS im Blut der Kälber.

5.3.2 Stewart- Variablen

In dem von Stewart neu entwickelten Ansatz zum Verständnis des SBS wird von drei Parametern ausgegangen, die als unabhängige Variablen betrachtet werden. Zu diesen Variablen zählt laut Stewart der PCO₂, Strong Ion Difference [SID] und [A_{tot}] im Blut. Eine Zunahme von [SID] und die Abnahme von [A_{tot}] kennzeichnen eine Alkalose, bei sinkenden Werten für [SID] und ansteigender [A_{tot}] liegt eine Azidose vor. Zu den Veränderungen im PCO₂ wurde bereits im Abschnitt 5.3.1. Stellung genommen.

[SID₃] im venösen Blut:

Nach Constable (2002) wies die Formel $[SID_4] = [Na^+] + [K^+] - ([Cl^-] + [Laktat^-])$ eine ausreichende Sicherheit bei der Berechnung der [SID] beim Rind auf. In dieser Formel bleiben die Konzentrationen für Ca^{2+} und Mg^{2+} unberücksichtigt (Constable, 1999a). Unter Verwendung der Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Konzentrationen bei der Berechnung von [SID], wie sie bei Fencel und Leith (1993) beschrieben ist, werden erwartungsgemäß geringgradig höhere, also stärker basische Werte der SID erzielt. Dieser Zusammenhang zwischen [SID₃] und [SID₆] konnte in Untersuchungen von de Barros Filho (2002) bestätigt werden. Für das Rind wurde ein Referenzbereich von Serum-[SID₃] = 38 - 46 mmol/l angegeben (Constable, 1999a). Die Beurteilung von SB-Imbalancen unter der Verwendung von Referenzwerten für [SID] setzt voraus, dass die entsprechende Bezugsformel der Berechnung von [SID] angegeben wird. Die SID₃-Werte der eigenen Studie liegen teilweise geringgradig höher als die im Referenzbereich für Rinder angegebenen Werte. Im Vergleich zur den eigenen Ergebnissen erzielten Butler *et al.* (1971) bei gesunden Kälbern ähnliche Werte für [SID₃], die in einem Bereich von 41,9 - 58,4 meq/l lagen. Durchfallkranke Kälber wiesen nahe des Todeszeitpunktes eine [SID₃] von 39 - 43 meq/l auf (Fisher, 1965).

Die Tränkung der Kälber mit normaler Kuhmilch verursachte im venösen Blut eine signifikante Abnahme der [SID₃] um $0,7 \pm 1,2$ mmol (s. Tab. 23). Diese postprandiale Veränderung im Blut ist insgesamt sehr gering ausgeprägt. Auch die Berücksichtigung der Serum-[Laktat⁻] bei der Berechnung von [SID₄] führt zu ähnlichen Ergebnissen wie für [SID₃]. Die stärksten Veränderungen der Serum-[SID₃] traten nach der Fütterung von Diättränke A ($+1,8 \pm 1,1$ mmol/l) und Mischtränke D ($+1,4 \pm 1,5$) (s. Tab. 24 und 27) auf, wobei der Anstieg der Serum-[SID₃] nur bei Diättränke A signifikant war. Insgesamt verursachten alle verabreichten Diättränken durch die postprandial geringfügig angestiegenen Mittelwerte für [SID₃] eine metabolisch bedingte alkalische Veränderung um Blut der Kälber. Die Anstiege der Serum-[SID₃] werden durch die nach der Fütterung angestiegenen Werte für $[Na^+]$ verursacht. Die mit den unterschiedlichen Tränken oral zugeführten Elektrolyte werden nach der Labmagenpassage im Dünndarm absorbiert. Trotz der annähernd gleichen Konzentrationen an Na^+ , K^+ sowie Cl^- in den beiden bikarbonatfreien Diättränken A und B, löst die orale Zufuhr der Diättränke B signifikante Anstiege der $[Na^+]$ und $[Cl^-]$ im Blut der Kälber aus (s. Tab. 25). Diese Beobachtung ist möglicherweise auf den fast doppelt so hohen Gehalt an Glukose in der Tränke B gegenüber der Tränke A zurückzuführen (Tab. 13). Na^+ -Ionen werden überwiegend elektrogen durch einen Na^+ -Glukose-Cotransport im Dünndarm absorbiert (Scharrer und Wolfram, 2005a). Die dabei entstehende transepitheliale Potentialdifferenz führt zur parazellulären Diffusion von Cl^- -Ionen in die

Darmkapillaren (s. Abb. 5). Ein erhöhter Glukosegehalt in der Tränke führt zu höheren Absorptionsraten für $[\text{Na}^+]$ und $[\text{Cl}^-]$ aus dem Darmlumen ins Blut.

Ohne Berücksichtigung der Art der Tränke fallen die Veränderungen der Elektrolytkonzentrationen für Na^+ , K^+ und Cl^- insgesamt sehr gering aus. Diese eigenen Beobachtungen bestätigen auch die Ergebnisse von Brooks *et al.* (1996b) und Garthwaite *et al.* (1994).

Fazit:

Zur wirksamen Bekämpfung der Dehydratation und der metabolischen Azidose von durchfallkranken Kälbern sollten nach Constable *et al.* (2005a) orale Rehydratationstränken mit einer [SID] zwischen 79 -93 mmol/l bevorzugt werden. Zusammen mit dem Durchfall treten häufig Hyponatriämie und Hyperchlorämie auf. Mit den entsprechenden Mengen und Konzentrationsverhältnissen des starken Kations Na^+ und Anions Cl^- in der Elektrolyttränke kann diesen Elektrolytimbalancen effektiv entgegengewirkt werden.

[A_{tot}] im venösen Blut:

Die Gesamtsumme der Konzentrationen aller schwachen Säuren (Albumin, Globuline, Phosphat) wird als die dritte unabhängige Stewart-Variable [A_{tot}] bezeichnet. Untersuchungen von Figge *et al.* (1991) zeigten, dass der Hauptanteil der schwachen Säuren das Albumin ausmacht. Am [A_{tot}] sind nur etwa 5% vom Serum-[Phosphat] beteiligt. Die Serum-[A_{tot}] kann aus dem Gesamtprotein- bzw. Albumingehalt im Blut mit Hilfe eines Faktors berechnet werden (Stewart, 1983). Aufgrund der speziesbedingten Unterschiede in der Zusammen-setzung der Aminosäuren des Albuminmoleküls ist die Bestimmung des [A_{tot}] für jede einzelne Tierart erforderlich (Tanford *et al.*, 1955). Die Werte für [A_{tot}] und die Dissoziationskonstante K_a konnten bereits für einige Tierarten experimentell bestimmt werden (s. Tab. 1). Für das Rind konnten bisher [A_{tot}] und K_a im Plasma nur theoretisch ermittelt werden (Constable, 2002). Auf der Suche nach Werten für die Gesamtmenge der schwachen Säuren im Plasma beim Kalb wurde davon ausgegangen, dass sie den Werten im Plasma des Rindes weitgehend gleichen (Constable *et al.*, 2005a). In den Untersuchungen von Constable *et al.* (2005a) ähneln die Werte für [A_{tot}] im Kälberplasma denen des Hundes, der Katze und des Menschen. Die Dissoziationskonstante K_a im Kälberplasma gleicht denen im Plasma von Katze und Mensch. Aus diesen Untersuchungen konnte mit Hilfe des Gesamtproteingehaltes im Serum von Kälbern die [A_{tot}] berechnet werden ($[\text{A}_{\text{tot}}] \text{ (mmol/l)} = 0,343 \text{ (mmol/g)} \times [\text{Gesamtprotein}] \text{ (g/l)}$). Während die Serum-globuline eine eher vernachlässigbare Rolle im SBS spielen, beeinflussen besonders die Albumine den SBS und liefern mit der Berechnung des [A_{tot}] unter Verwendung der Serum-

[Albumin] einen genaueren Wert ($[A_{\text{tot}}] \text{ (mmol/l)} = 0,622 \text{ (mmol/g)} \times [\text{Albumin}] \text{ (g/l)}$) (Constable *et al.*, 2005a).

Bis auf die Diättränken A und C verursachten die Fütterungen von Milch und aller anderen Elektrolyttränken postprandial geringgradige, teilweise signifikante Verminderungen von $[A_{\text{tot}}]$ (Tab. 23-30). Etwa 2 h nach der Tränkeaufnahme führen die aufgenommenen Elektrolyte und die Flüssigkeit zu einer Zunahme des Wasseranteils im Blut. Deswegen kommt es zu einer relativen Verringerung des Plasma-Albumin-Gehaltes in Blut. Da das Serum-Albumin die Bezugsgröße bei der Berechnung von $[A_{\text{tot}}]$ ist, gehen absinkende Werte für [Albumin] zeitgleich mit postprandial verminderten $[A_{\text{tot}}]$ einher.

Fazit:

Die Synthese des Albumins und der verschiedenen Globuline wird in den Hepatozyten reguliert und ist unabhängig von dem vorherrschenden SBS im Organismus. Oral verabreichte Elektrolyttränken können den Serum-Albumin-Absolutbetrag und damit den Gehalt des A_{tot} im Blut nicht verändern.

5.3.3 Strong Ion Gap (SIG) und Anion Gap (AG)

Die Messwerte der [AG] im Serum der Versuchskälber gleichen den von Hartmann angegebenen Werten beim Rind (16-18 mmol/l) (1994). Anderen Angaben zufolge liegt der Referenzbereich des AG gesunder Kälber bei $8,9 \pm 15 \text{ mmol/l}$ (Constable *et al.*, 2005a). Bis auf die Milchtränke verursachten die verschiedenen Diättränken 2 h nach ihrer Verabreichung an die Kälber keine signifikanten Veränderungen des Serum-AG. Die [AG] zeigt eine positive Korrelation zum D-Laktat-Gehalt im Serum (Lorenz, 2004b). Bei durchfallkranken Kälbern ist neben der häufig auftretenden metabolischen Azidose auch eine Hyperlaktatämie im Blut zu beobachten, die mit einem Anstieg der Serum-[AG] verbunden ist (Lorenz, 2004a). Die Serum-[AG] wird von der Albuminkonzentration im Blut beeinflusst. Eine Hypoalbuminämie beim Menschen führt zur Abnahme der Serum-[AG] um 1,5 - 2,5 mmol/l je g/dl [Albumin] (Feldman *et al.*, 2005).

Die [SIG] ist die Differenz aus $[SID_a]$ und $[SID_e]$ und gibt somit annähernd den Gehalt an nicht gemessenen Ionen im Serum wieder (Derksen *et al.*, 2006). Die Werte für [SIG] im venösen Blut liegen bereits vor der Tränkung bei allen Versuchstieren im negativen Bereich und sinken 2 h postprandial geringgradig, teilweise signifikant ab. Der Normalbereich für [SIG] bei Kälbern liegt zwischen -2 bis +2 mmol/l. Die [SIG]-Werte der Versuchskälber aus den eigenen Untersuchungen lagen geringgradig unter diesem angegebenen Bereich. Nach Constable *et al.* (2005a) bedeutet eine [SIG] unter 2 mmol/l eine Zunahme der ungemessenen starken Anionen (USA). Eine Ursache für den Anstieg von [USA] ist die Zunahme von L- oder D-Laktat im Blut von durchfallkranken Kälbern. Über die Serum-[SIG]

kann eine korrektere Bestimmung der nicht gemessenen Ionen gewährleistet werden (Constable *et al.*, 1998a). Im Gegensatz zum AG ist das SIG unabhängig von Veränderungen der Plasmaproteine und der Phosphatkonzentration im Blut (Constable, 2002). Für viele Autoren scheint es sinnvoll, [SIG] zu bestimmen, wenn eine metabolische Azidose oder Erkrankungen mit renaler oder hepatischer Schädigung vorliegen (Kellum *et al.*, 1995; Kellum, 2003; Moviat *et al.*, 2003). In den eigenen Untersuchungen erscheint eine Bestimmung des Serum-[SIG] nicht erforderlich, da es sich um gesunde Kälber handelt.

Fazit:

Bei der Bestimmung der Serum-[AG] sind die Auswirkungen von Hyperlaktatämie und Hypoalbuminämie nicht unerheblich und führen zu veränderten Werten (Figge *et al.*, 1998; Story *et al.*, 2005). Die [SIG] ist als Indikator für das Vorhandensein von ungemessenen Anionen im Serum besser geeignet als die Bestimmung des AG. Für die Beurteilung veränderter [SIG] müssen entsprechende Normwerte geschaffen werden.

5.3.4 Untersuchungen im Harn

Bei der Untersuchung des 24 h-Sammelharn sollte festgestellt werden, ob der Zusatz von Elektrolyten zur Milchtränke Veränderungen im ausgeschieden Urin herbeiführt oder nicht. Die Elektrolyte der Diättränke B, die in Milch gelöst an die Kälber verabreicht wurde, erreichten über die Absorption im Dünndarm das Blut und wurden sogleich über die Nieren adäquat wieder ausgeschieden. Mit Hilfe von Filtration-, Sekretions- und Reabsorptionsprozessen können die Nieren unmittelbar auf veränderte Elektrolytverhältnisse im Blut reagieren und entsprechend regulieren. Die Stewart-Variable SID im Harn zeigt zeitgleich zu den SID-Werten im Blut bei der Fütterung von Diättränke B eine deutliche alkalische Auslenkung.

Der Anstieg des pH-Wertes sowie die Veränderungen der [NSBA] und des BSQ im Sammelurin bei der Tränkung mit der Elektrolyttränke B sind eher kritisch zu betrachten, da die Regulationsvorgänge in den Nieren erst 1-2 Tage nach der auftretenden Störung im systemischen SBS im Urin optimal nachweisbar sein sollen.

Insgesamt weisen die im Sammelurin untersuchten Parameter große Schwankungen um ihre Mittelwerte auf. Trotz der Verabreichung konstanter Tränkemengen kam es anscheinend zur Ausscheidung variabler Mengen von Elektrolyten bzw. Flüssigkeit.

Fazit:

Henderson-Hasselbalch-Theorie

Die Nieren sorgen für die Konstanz des extrazellulären HCO_3^- -Bestandes und koordinieren die Pufferbereitstellung und Protonensekretion. Bei Störungen des SBS werden für die erforderliche Anpassung beider Prozesse vermutlich wenige Tage benötigt, so dass sich in unseren Untersuchungen der mögliche Fütterungseinfluss auf die Harnzusammensetzung noch nicht deutlich zeigen konnte.

Stewart-Theorie

Mit der gezielten Steigerung oder Verminderung der Ausscheidung einzelner Elektrolyte, wie Na^+ , K^+ und Cl^- erhalten die Nieren auch bei veränderter Aufnahme durch die Fütterung das Elektrolytgleichgewicht im Organismus aufrecht. Diese renalen Regulationsmechanismen setzen offensichtlich frühzeitiger innerhalb von wenigen Stunden ein.

5.3.5 Statistische Untersuchungen

Aufgrund der Versuchsplanung sind die einzelnen Versuchstiere in den ausgewerteten Tränkeversuchen mehrfach enthalten. Das kann möglicherweise die Ursache dafür sein, dass bei den gemessenen Parametern in Labmagingesta oder Blut teilweise nur geringe Schwankungen feststellbar waren.

5.3.6 Titrationskurven (In-vitro) von Milch und Diättränken

Die Bestimmung des optimalen Pufferbereiches einer Tränke erfolgte mit Hilfe der Titrationskurven von Milch und den unterschiedlichen Elektrolyttränken nach der Zugabe von Säure bzw. Base. Dabei stellte sich heraus, dass mit Ausnahme von Diättränke B und E die intraabomasal gemessenen pH-Werte nach Milchtränke und der untersuchten Diättränken nicht in dem optimalen Pufferbereich der jeweiligen verabreichten Tränken liegen. Nach der Fütterung von Tränke B und E reichten die intraabomasal gemessenen pH-Werte mit ihren maximalen Auslenkungen bis in den pH-Bereich der Tränken, wo sie ihre größte Pufferkapazität aufwiesen. Vergleichbare Untersuchungen aus der Literatur lagen zu diesem Zeitpunkt nicht vor.

Fazit:

Die intraabomasal gemessenen pH-Werte der Ingesta erreichen teilweise nur annähernd die In-vitro ermittelten optimalen Pufferbereiche der Milch bzw. der einzelnen Tränken. Die Bestimmung der Pufferkapazität von oral verabreichten Tränken erlaubt keine Aussagen über die postprandialen Verhältnisse im Labmagen.

5.4 Schlussfolgerungen

- Anhand des pH-Wertes und der $[\text{HCO}_3^-]$ in der Tränke lassen sich keine Aussagen über die maximale Auslenkung des intraabomasalen pH-Wertes treffen.
- Der [SID]-Wert in einer Tränke ist scheinbar gut geeignet, die postprandiale basische Auslenkung des intraabomasalen pH-Wertes vorherzusagen
- Die Zugabe von Elektrolyttränken zur Milch führen trotz der Abwesenheit von HCO_3^- -Ionen zu einem stärkeren Anstieg des Labmagen-pH gegenüber der normalen Milchtränke. Eine Erklärung für die höheren pH-Werte in den Labmagingesta könnten die im Vergleich zur Milch erhöhten SID-Werte in den bikarbonatfreien Diättränken sein.
- Oral verabreichte Elektrolyttränken, die in Wasser gelöst wurden, weisen eine schnellere Transitzeit im Labmagen auf. Diese Eigenschaft solcher ORT führt dazu, dass die in der Tränke enthaltenen Elektrolyte und damit auch die Flüssigkeit schneller den Ort ihrer Absorption, nämlich den proximalen Dünndarm, erreichen. Stark dehydratisierte Kälber könnten daher rasch mit fehlender Flüssigkeit und Elektrolyten versorgt werden.
- Eine fehlende Gerinnung der Milch aufgrund einer zugesetzten bikarbonathaltigen Diättränke hat bei gesunden Kälbern scheinbar keine schädigenden Auswirkungen. Das konnte bereits von Petit *et al.* (1988) festgestellt werden und wurde auch in den eigenen Untersuchungen beobachtet.
- Die alkalisierende Wirkung von HCO_3^- -Ionen und den metabolisierbaren Puffersubstanzen ist bei gesunden Kälbern gleich effektiv (Naylor, 1986). Aus diesem Grund waren in den eigenen Untersuchungen nach der Verabreichung der unterschiedlich zusammengesetzten Diättränken keine auffallenden Unterschiede in der Wirkung auf den systemischen SBS im Blut erkennbar. Im Gegensatz zu kranken Kälbern haben gesunde Tiere eine ausgeprägte Kapazität, Veränderungen im SBS zu kompensieren.
- Insgesamt waren die metabolisch bedingten alkalischen Veränderungen im Blut der Kälber sehr gering. Constable *et al.* (2005a) empfiehlt für die Behandlung von durchfallkranken Kälbern mit metabolischer Azidose eine Elektrolytlösung mit einer hohen SID (79-93 mmol/l). Erst bei dieser Konzentration ist eine effektive Behandlung der „starken“ Ionen-Azidose gewährleistet. Bei der Auswahl unserer Elektrolyttränken hat die Diättränke B den höchsten SID von 68 mmol/l. Daher sind die geringgradigen Effekte im Blut unserer Versuchstiere auf die geringen SID-Werte in den Tränken zurückzuführen.
- Für eine sinnvolle Anwendung des Stewart-Modells zur Beurteilung des systemischen SBS müssen spezies-spezifische Werte geschaffen werden, da es unter den einzelnen Tierarten Unterschiede in den Messwerten gibt. In diesem Zusammenhang wäre es auch empfehlenswert zwischen den Messwerten adulter Tiere und Jungtiere zu unterscheiden.

Empfehlungen für die Praxis:

Eine Beibehaltung der Milchtränke bei durchfallkranken Kälber, welche die eventuell auftretenden Energiedefizite ausgleichen kann, bleibt unumstritten (Sadiek und Schlerka, 1996; Michell, 2005). In diesem Zusammenhang wird von Constable *et al.* (2005) empfohlen, statt Milchaustauscher der normalen Kuhmilch den Vorzug zu geben. Nach der Milchtränke kehren die intraabomasalen pH-Werte gegenüber der Fütterung mit MAT wieder früher zu ihren Ausgangswerten zurück und bereiten damit ein optimales Milieu für die Milchgerinnung und die enzymatische Verdauung im Labmagen vor. Die erforderliche Tagesration von 10-12 % der KM sollte auf mehrere Mahlzeiten verteilt werden. Die Steigerung der Fütterungsfrequenz verringert einen zu starken postprandialen pH-Anstieg in den Labmagingesta (Ahmed *et al.*, 2002).

Längere Zeiträume ohne Tränkung sollten vermieden werden, da der Labmagen-pH zu stark absinkt (<2,0) und diese stark sauren Verhältnisse das Entstehen von peptischen Geschwüren im Labmagen begünstigen können (Navetat, 1987).

Fazit aus den eigenen Untersuchungen:

Unter Beibehaltung der Milchtränke können bikarbonathaltige Diättränken problemlos als Zwischentränke zwischen den Mahlzeiten angeboten werden, da die postprandial ausgelenkten pH-Werte in den Labmagingesta rasch innerhalb von etwa 3½ -4 h wieder zu ihren Ausgangswerten zurückkehren (Reinhold *et al.*, 2006). Die Gerinnung sowie die enzymatische Verdauung können bei einer anschließenden Milchtränke ungestört ablaufen. Die in Wasser gelösten und anschliessend oral verabreichten Elektrolyttränken sind für eine rasche und effektive Rehydratation gut geeignet und können unter Beachtung der Tagesmilchmenge auch als Hauptration statt einer Milchmahlzeit verfüttert werden. Die Beurteilung des SBS im Blut mit Hilfe der Stewart-Variablen ist offenbar ebenso möglich wie auch mit den Parametern nach der Theorie von Henderson und Hasselbalch. Für eine korrekte Interpretation der Stewart-Variablen müssen jedoch für jede Tierart Referenzbereiche geschaffen werden.