5. Diskussion

5.1. Langzeitgabe von Anionenrationen

Die Untersuchungen über die Dauer der Applikation der Anionenrationen zeigt, dass die Effekte der sauren Salze relativ langsam einsetzen, die volle Wirkung aber im Schnitt innerhalb von 3 -7 Tagen erreicht ist. Dies stimmt mit der Aussage von JARDON (1995) überein, die besagt, dass der Nutzen der sauren Salze innerhalb weniger Tage eintritt. Nach GOFF u. HORST (1998a) reagieren die Kühe schon innerhalb von 24 Stunden nach Beginn der Behandlung auf die Anionensupplementierung.

Im weiteren Verlauf entwickelte sich eine signifikante metabolische Azidose. Verschiedene Autoren haben diese Beobachtung als Folge der Fütterung von Anionen beschrieben (VAGG u. PAYNE, 1970; JOYCE et al., 1997; FREDEEN et al., 1988a; TUCKER et al., 1992; WANG u. BEEDE, 1992). Die pH-Werte im Blut waren im ersten Durchlauf in der Kalziumsulfatgruppe (Abb. 2) erniedrigt. In der Kalziumchloridgruppe des ersten Durchlaufes (Abb. 1) sowie in beiden Gruppen des zweiten Durchlaufes (Abb. 11, 12) waren sie signifikant erniedrigt. Die Autoren FELDE (1999), ABU DAMIR et al. (1994), PHILLIPPO et al. (1994) und JOYCE et al. (1997) haben ebenfalls eine Blut-pH-Wertabsenkung nach einer Anionensupplementierung festgestellt. Die vermehrt vorliegenden Protonen im Blut (BLOCK, 1994) werden durch Pufferbasen, wie HCO_3^- abgefangen. Dies zeigte sich in diesen Versuchen in den erniedrigten Bicarbonat- (Tab. 20, 22) und BE-Werten (Abb. 3, 4). Die Aussagen von ABU DAMIR et al. (1994), PHILLIPPO et al. (1994) und JOYCE et al. (1997) stimmen damit überein. HCO_3^- verbindet sich mit H^+ zu Kohlensäure (H_2CO_3), die dann in CO_2 und H_2O zerfällt. Dies stellt im Körper ein wichtiges Puffersystem dar. CO_2 kann dann über die Lunge abgeatmet werden. Die Konzentration von pCO2 bleibt beim Einsatz von Anionen jedoch meist unverändert (TUCKER et al., 1991a; SCHONEWILLE et al., 1994a; VAGNONI u. OETZEL, 1998) oder ist nur tendenziell erniedrigt (JOYCE et al., 1997; TUCKER et al., 1991b). In dieser Versuchsreihe zeigte sich im ersten Durchlauf nur in der Kalziumchloridgruppe am 30. Tag eine signifikante Verringerung der pCO_2–Konzentration auf 38,80 mmHG (Tab. 20) und im zweiten Durchlauf in der Kalziumsulfatgruppe am 27. Tag auf 41,00 mmHG (Tab. 22). Bei einer metabolischen Azidose ist die pCO_2–Konzentration zwar primär unverändert, kann aber sekundär über respiratorische Kompensation tendenziell verringert sein (PRAECHTER, 2001). Im Harn kam es in dieser Versuchsreihe ebenfalls zu deutlichen Anzeichen einer Azidose. In beiden Gruppen zeigte sich eine signifikante Absenkung des pH-Wertes (Abb. 5, 6, 15, 16) und der NSBA (Abb. 7, 8, 17, 18).

Die homöostatischen Mechanismen des Säuren-Basen-Haushaltes versuchen, der metabolischen Azidose entgegenzuwirken. Es kommt dabei zu einer vermehrten renalen Ausscheidung von Protonen unter gleichzeitiger Retention von Bicarbonat (FREDEEN et al., 1988a; BLOCK, 1994; RAMBERG et al., 1996). Der Gehalt an Protonen erhöht sich dadurch (TUCKER et al., 1988, 1991b) und der Gehalt an Bicarbonat verringert sich (FREDEEN et al., 1988b; WANG u. BEEDE, 1992; BLOCK, 1994; DELAQUIS u. BLOCK, 1995). Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen signifikanten Abfall des Basengehaltes unter der Salzgabe (Tab. 21, 23). Dem gegenüber steht der Säurengehalt. Er verändert sich unter der Applikation saurer Salze geringfügiger, es ist jedoch ein leichter Anstieg zu erkennen. Signifikante Unterschiede zur Ausgangsprobe können bezüglich des Säurengehaltes in der Kalziumchloridgruppe nur am 30. Tag (Tab. 21) und in der Kalziumsulfatgruppe nur am 37. Tag (Tab. 21) bzw. am 20. Tag (Tab. 23) bei dem Wiederholungsversuch festgestellt werden. An diesen Tagen steigt der Säurengehalt signifikant an. Die Ergebnisse dieses Versuches legen die Vermutung nahe, dass die Veränderungen der NSBA in erster Linie durch den abnehmenden Basengehalt bedingt sind, also primär eine Reaktion der Basen sind. Des Weiteren steigt besonders bei der Wiederholung dieses Versuches der Ammoniumgehalt im Harn signifikant an (Tab. 21, 23). Dies hängt mit dem erniedrigten Harn-pH zusammen. Der Harn-pH wird über die Ausscheidung von Bicarbonat (HCO_3^-) und Ammoniumionen (NH_4^+) reguliert (SCOTT et al., 1971). Ammoniak und Ammonium (NH_3 / NH_4^+) sind ein wichtiges Puffersystem des Harns (BUDDECKE, 1994). Die Ammoniumionen stellen dabei die Säure bzw. den Protonendonator dar, Ammoniak ist die Base bzw. der Protonenakzeptor. Beim Einsatz saurer Salze steigt die Protonenausscheidung mit dem Harn an (TUCKER et al., 1988, 1991b). Diese werden nun von NH_3 aufgenommen und es entsteht vermehrt NH_4^+. Deswegen steigt mit sinkendem Harn-pH die Ammoniumausscheidung an (KENDALL et al., 1969; WANG u. BEEDE, 1992; OWENS et al., 1998). Ein anderer Grund könnte eine erhöhte bakterielle Zersetzung sein, dies kann jedoch ausgeschlossen werden, da die Harnproben nach der Entnahme tiefgefroren und nach dem auftauen innerhalb kurzer Zeit untersucht wurden.

Der Verlauf der Parameter des Säuren-Basen-Haushaltes in Blut und Harn (Abb. 1 – 20) zeigt prinzipiell ein sich wiederholendes Muster. Die Werte sinken erst ab, zeigen aber nach dem 3. oder 6. Tag einen leichten Anstieg, um danach wieder bis zum Ende der Salzphase abzufallen. Die Gründe für diese Schwankungen könnten einerseits durch Variationen in der Futterqualität oder in der Futteraufnahme entstanden sein. Es könnte jedoch auch sein, dass der Anstieg durch gegenregulative Vorgänge bedingt ist.

Die Kalziumresorption aus dem Darm wird durch 1,25-Dihydroxycholecalciferol innerhalb von 24 Stunden, die aus dem Knochen durch 1,25-Dihydroxycholecalciferol und PTH innerhalb von 48 Stunden und mehr verbessert (HORST et al., 1978b). Es könnte möglich sein, dass die Kalziumresorption zu der Zeit des Ansteigens der Parameter einsetzt. Dadurch stehen vorübergehend Puffersubstanzen wie zum einen Carbonate, aber auch Phosphate durch die Kalziumfreisetzung aus dem Knochen zur Verfügung (TRAN, 1997), die die Effekte der sauren Salze mindern. Dieses System ist wahrscheinlich zur Zeit des zweiten Abfallens (ab dem 23. / 27. Tag) der Werte erschöpft, da die Salzgabe weiter anhält. Beim zweiten Absinken beobachtet man, dass die Werte vor allem in der Kalziumchloridguppe des ersten Durchlaufes in niedrigere Bereiche als beim ersten Absinken abfallen. Vermutlich kann sich das System nach der Erschöpfung nicht mehr so schnell erholen. Die Homöostase des Säuren-Basen-Haushaltes droht zu entgleisen. Die Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Erkenntnissen von FÜRLL u. BAUERFELD (2001). Sie verabreichten saure Salze mit einem DCAB-Wert von -100 meq/kg TS für 3 – 4, 4 – 5, 5 - 6 und 6 – 8 Wochen vor der Abkalbung und stellten in der Gruppe mit der längsten Fütterungsdauer die günstigsten Ergebnisse in Bezug auf die Mineralkonzentration und den Säuren-Basen-Status im Harn fest. Die Gruppe die nur 3 – 4 Wochen saure Salze erhielt, wies 2 Milchfieberfälle auf und hatte ungünstige BSQ- und Harn-pH-Werte.

Die volle Wirkung der Anionen ist in diesen Versuchen im Mittel nach 3 – 7 Tagen erreicht. Bei länger anhaltender Gabe besteht die Gefahr der Entgleisung des Säuren-Basen-Haushaltes. Dies ist mit schweren gesundheitlichen Risiken für das Tier auch aufgrund der zu starken Kalziummobilisierung (MAHLKOW-NERGE, 2001) und der sich entwickelnden akuten Azidose, die wiederum mit Gesundheitsstörungen einhergeht (FÜRLL et al., 1996), verbunden. Aufgrund dieser Tatsachen sollte die Empfehlung für die Dauer des Einsatzes der sauren Salze neu überdacht werden. Für eine Langzeitgabe gibt es keine Begründung, aufgrund der Ergebnisse empfiehlt sich für den Einsatz der Anionenrationen eine Mindestdauer von 7 Tagen, 14 Tage sollten nicht wesentlich überschritten werden.

5.2. Energieversorgung bei Fütterung von Anionen

Die Ergebnisse des Versuches zeigen, dass sich sowohl bei ausgeglichener Energieversorgung als auch bei Energiemangelversorgung eine signifikante Azidose einstellt. Die BE- (Abb. 23, 24), NSBA- (Abb. 27, 28) und BSQ-Werte (Abb. 29, 30) sinken bei ausgeglichener Energieversorgung in beiden Gruppen signifikant ab. Der pH-Wert im Blut ist nur in der Kalziumsulfatgruppe (Abb. 22) signifikant erniedrigt.

Die pH-Werte des Harnes (Abb. 25, 26) sinken ebenfalls signifikant ab. Interessanter Weise steigen die NH_4^+-Werte im Harn in dieser Versuchsphase extrem an (Tab. 25). Dies kann einerseits an der Regulation des Harn-pH-Wertes liegen, wie es unter 5.1. besprochen wurde. Auffällig ist jedoch, dass die Werte viel höhere Bereiche erreichen. Dies steht vermutlich mit der Strohfütterung in Zusammenhang, da in den Versuchsphasen V8 (Tab. 35) und V9 (Tab. 37), in denen ebenfalls Stroh gefüttert wurde, vergleichbare NH_4^+ Werte beobachtet wurden. Nach STÖBER (2002) kann eine abrupte Zunahme des Rohfasergehaltes der Ration die ruminale NH_3-Intoxikationen fördern. Gerade bei Energiemangel kann der im Pansen verfügbare Stickstoff nicht genutzt werden. Die Überschüsse von Ammoniak werden in der Leber zu Harnstoff umgewandelt (STEINWIDDER u. GRUBER, 2000). Es kommt zu einem Harnstoffüberschuss in der Leber. Daraufhin wird Harnstoff vermehrt an das Blut abgegeben und mit dem Harn ausgeschieden.

In der zweiten Phase (Energiemangelversorgung) zeigen alle dargestellten Parameter ein signifikantes Absinken der Werte. Unter der Energiemangelversorgung kommt es interessanter Weise zu einer Abnahme des Säurengehaltes im Harn. Dies ist durch das fehlende Kraftfutter und die reine Strohfütterung bedingt. Der Basengehalt sinkt ebenfalls in beiden Gruppen signifikant ab. Die pH-, BE- und NSBA-Werte sinken in der zweiten Phase stärker ab als bei ausgeglichener Versorgung. Es stellt sich eine massive metabolische Azidose ein.

GARDNER u. PARK (1971) stellten in ihren Untersuchungen über die präpartale Energiezufuhr fest, dass bei einer energiereichen Fütterung mit 170 % Energie die Inzidenz der Gebärparese höher liegt als bei einer energieärmeren Fütterung (115 % Energie). Diese Versuche wurden ohne gleichzeitige Gabe von Anionen durchgeführt. In den Untersuchungen von CURTIS et al. (1984) konnte hingegen die Gebärpareseinzidenz durch eine proteinreiche, phosphorarme und zur Kalbung hin energiereicher werdende Fütterung gesenkt werden. Die vorliegenden Ergebnisse dieses Versuches könnten einerseits darauf hinweisen, dass durch die negative Energiebilanz die Wirkung der sauren Salze verstärkt wird. Aufgrund des Energiemangels stellt sich eine katabole Stoffwechsellage ein. Als Folge kommt es zu einem vermehrten Abbau von Fett- und Aminosäuren. Die dadurch entstehenden Stoffwechselprodukte (Ketosäuren) verstärken die Azidose und damit die Wirkung der sauren Salze. Daraus können schwere gesundheitliche Folgen für die Kuh entstehen. Die Energiekonzentration sollte daher beim Einsatz der sauren Salze ausreichend hoch sein, um einer Verstärkung der Azidose in zu niedrige Bereiche entgegenzuwirken.

Nach GERLOFF (1988) sollte der Energiegehalt der Ration in der frühen Trockenstehperiode ausgeglichen sein. In der späten Trockenstehphase (Transitphase) sollte der Energiegehalt langsam ansteigen und Anionenrationen eingesetzt werden. Auf diese Weise kann die Kuh auf die energiereiche Fütterung während der Laktation vorbereitet und gleichzeitig eine Gebärpareseprophylaxe betrieben werden. Darüber hinaus sollte der natürliche Futteraufnahmerückgang um den Zeitpunkt der Geburt durch die Verfütterung von ballaststoffreichem Futter besonders guter Qualität vermieden werden (GERLOFF, 1988). Die Trockensteherration ist nach GOFF u. HORST (1998b) energieärmer und reicher an NDF (NDF= neutral detergent fibre, bezeichnet die Summe der Gerüstsubstanzen, die man nach Kochen des Futtermittels in neutraler Detergenzienlösung erhält, JEROCH et al., 1999) als die Futterration in der Hochlaktation. Deswegen sollte 2 – 3 Wochen vor der Kalbung der Energiegehalt der Ration durch das Einmischen von Getreide erhöht werden (GOFF u. HORST, 1998b). Besonders wenn saure Salze mit in die Trockensteherration eingemischt werden, ist dies von entscheidender Bedeutung.

Die Verläufe der Parameter lassen außerdem Parallelen zu denen aus den Langzeitversuchen erkennen. Da zwischen den Fütterungen der verschiedenen Energiegehalte keine Wash-Out-Phase durchgeführt wurde und die Anionen über 45 Tage durchgehend verabreicht wurden, handelt es sich in der Tat hier auch um eine Langzeitapplikation. Daher können die Ergebnisse nicht sicher zugeordnet werden. Es könnte ebenso sein, dass die Schwankungen im Verlauf der Kurven auf die Effekte der Langzeitgabe, wie sie unter 5.1. beschrieben wurden, zurückzuführen sind. Die DCAB-Werte der Rationen der Langzeitversuche und des ersten Abschnittes dieses Versuches (ausgeglichene Energiebilanz) waren ungefähr gleich hoch, der DCAB-Wert der zweiten Versuchsphase (negative Energiebilanz) dieses Versuches lag sogar höher. Die metabolische Azidose die sich darauf einstellte, war trotz der höheren DCAB jedoch in beiden Gruppen viel stärker ausgeprägt. Dies lässt darauf schließen, dass die Effekte der Energiemangelversorgung die Effekte der Langzeitgabe noch verstärkt haben. Deswegen sei abschließend festzuhalten, dass sich die Kühe bei Verfütterung von Anionenrationen nicht in negativer Energiebilanz befinden sollten.

5.3. Auswirkungen von Natrium- und Kaliumhydrogencarbonat

5.3.1. Auswirkungen auf die Wirkung saurer Salze

Die Auswirkungen der Anionenrationen sind sowohl beim Zusatz von Natrium- als auch von Kaliumsalzen (Abb. 31 - 50) oder des Salzgemisches (Abb. 51 - 60) geringfügig ausgefallen. Alle Parameter bewegen sich im physiologischen Bereich. Bei der äquimolaren Verabreichung der Anionen in Kombination mit Natrium- oder Kaliumsalzen unterliegen die pH-Werte des Blutes (Abb. 31 - 34) und des Harnes (Abb. 39 -42) kaum Schwankungen. Die NSBA (Abb. 43 - 46) unterliegt ebenfalls keinen großen Schwankungen, sie bewegt sich im physiologischen Bereich (Tab. 54) zwischen 106 bis 194 mmol/l. Die BE-Werte (Abb. 35 - 38) sinken geringfügig ab, sind jedoch nur in der $NaHCO_3$-$CaSO_4$-Gruppe signifikant erniedrigt. Die BSQ-Werte (Abb. 47 – 50) zeigen bei den Kaliumgruppen einen leichten Anstieg und bei den Natriumgruppen ein leichtes Absinken. Die Effekte des Salzgemisches (Abb. 51 – 60) auf die Anionen wirken sich in vergleichbarer Weise aus.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass es beim gleichzeitigen Einsatz äquivalenter Mengen der anionischen Salze Kalziumchlorid und Kalziumsulfat ($CaCl_2$ / $CaSO_4$) und der kationischen Salze Natrium- und Kaliumhydrogencarbonat ($NaHCO_3$ / $KHCO_3$) zu sehr geringen bzw. gar keinen Veränderungen im Säuren-Basen-Haushalt kommt. Nach BLOCK (1994) haben diese vier Ionen den größten Einfluss auf den Säuren-Basen-Status. Überwiegen in einer Ration die Anionen gegenüber den Kationen nimmt die DCAB einen negativen Wert an und die Ration erhält einen sauren Charakter (TAKAGI u. BLOCK, 1991c). Diese Ansäuerung, die bei einem Anionenüberschuss stattfindet und eine Kalziummobilisierung nach sich zieht, bleibt hier aufgrund des äquivalenten Kationenanteils aus. Futterrationen, die wiederum einen Kationüberschuss enthalten, haben einen hohen DCAB-Wert (FREDEEN et al., 1988a, b) und verursachen eine milde metabolische Alkalose (GOFF u. HORST, 1997; GOFF et al., 2003). Die Alkalose vermindert die Ansprechbarkeit der Gewebe auf PTH und beeinträchtigt dadurch die Kalziumhomöostasemechanismen (GAYNOR et al., 1989; PHILLIPPO et al., 1994; ABU DAMIR et al., 1994). Die Effekte der Kationen wirken den Effekten der Anionen und damit den Mechanismen der Gebärpareseprophylaxe also entgegen und können sich gegenseitig aufheben. Dies geschieht da der DCAB-Wert, der sich durch die Anionen verringert, durch die Kationen wieder erhöht wird (FREDEEN et al., 1988a, b). JACKSON et al. (1992) stellten fest, dass sich der DCAB-Wert bei gleich bleibendem Chloridanteil durch Zusatz von Natrium- oder Kaliumhydrogencarbonat ($NaHCO_3$, $KHCO_3$) erhöht.

In diesem Versuch wurde die DCAB durch die Anionen um den gleichen Wert verringert, wie er durch die Kationen wieder erhöht wurde. Dadurch wurde weder von den Anionen noch von den Kationen eine Wirkung erzielt.

Viele Futtermittel, besonders Luzerne haben einen zu hohen Kationenanteil (BLOCK, 1984; FREDEEN et al., 1988a, b; JOYCE et al., 1997). Dabei spielt vor allem Kalium eine große Rolle, denn Kalium wird oft als Düngemittel eingesetzt (GOFF u. HORST, 1998b). Der Gehalt an Natrium ist in den Futtermitteln nicht so häufig erhöht (GOFF u. HORST, 1997). GOFF u. HORST (1997) untersuchten den Einfluss von Natrium und Kalium auf die Inzidenz der Gebärparese. Mit steigenden Kaliumgehalten bei geringem Kalziumanteil und mit steigenden Natriumgehalten nahm auch die Gebärpareseinzidenz zu. Diese Ergebnisse basieren jedoch auf Untersuchungen, die ohne den gleichzeitigen Einsatz von sauren Salzen durchgeführt wurden. GOFF u. HORST (1998b) geben für die optimale Mineralstoffversorgung von trockenstehenden Kühen in den letzen 3 – 4 Wochen folgende Werte an: Natrium 0,1%, Kalium 0,7%, bzw. 1,0% (GOFF, 2000).

Durch den Einsatz der sauren Salze können auch Futtermittel mit einem hohen Kationenanteil verfüttert werden, denn die sauren Salze senken den DCAB-Wert, und der Gebärparese wird dadurch vorgebeugt (BLOCK, 1984). Die Ergebnisse dieses Versuches haben gezeigt, dass die Effekte der Kationen durch äquivalente Mengen von Anionen aufgehoben werden können. Für den erfolgreichen Einsatz der sauren Salze ist es dazu unbedingt erforderlich, vor Beginn der Verfütterung eine Futtermittelanalyse durchzuführen, um den exakten Gehalt der Ionen zu bestimmen. Daraufhin sollte die Menge der sauren Salze unter Anlehnung an die empfohlenen Höchstmengen und anhand der DCAB-Formel berechnet werden. Ohne diese genaue Berechnung kann der Erfolg der sauren Salze nicht gewährleistet werden. Dies hat sich in der Praxis schon oft gezeigt. Das Einmischen in die TMR erhöht die Akzeptanz und gewährleistet ein sicheres Aufnehmen der Salzmenge (BETHARD et al., 1998; FÜRLL et al., 1996).

Es stellt sich noch die Frage, ob die alkalische Wirkung der Natrium- und Kaliumsalze gleichwertig ist. Diese Frage kann aufgrund der geringfügigen Veränderungen nicht eindeutig beantwortet werden. Es scheint aber so, als wäre die Wirkung der Kaliumsalze stärker alkalisierend als die der Natriumsalze, was anhand der BSQ-Werte ersichtlich wird. Die BSQ-Werte steigen unter der Gabe von Anionen in Kombination mit Kalium (Abb. 47) leicht an. Die Natriumsalze bewirken dies nicht, bei ihnen fällt der BSQ sogar noch ab (Abb. 48). Dies kann bedeuten, dass die Kaliumsalze etwas stärker gewirkt haben, als die Anionen, die Anionen wiederum stärker wirkten als die Natriumsalze.

Darüber hinaus ist bei der gemeinsamen Applikation von Kalziumchlorid und Natriumhydrogencarbonat ein signifikant erhöhter Säurengehalt erkennbar (Tab. 29), der bei der gemeinsamen Gabe von Kalziumchlorid und Kaliumhydrogencarbonat nicht beobachtet werden konnte (Tab. 27). Daraus ist ableitbar, dass die alkalische Wirkung der Natriumsalze schwächer ist als die der Kaliumsalze. Dies ist jedoch widersprüchlich zu den Erkenntnissen von GOFF u. HORST (1997). Danach haben Natrium- und Kaliumcarbonat unter Bezug der SID-Theorie (SID = strong ion difference) von STEWARD (1983) die gleiche alkalische Wirkung, da sie beide nahezu zu 100% absorbiert werden.

5.3.2. Auswirkungen auf den Säuren-Basen-Haushalt

Hierzu wurde den Tieren entweder Natrium- oder Kaliumhydrogencarbonat verabreicht ohne den gleichzeitigen Einsatz saurer Salze. Der pH (Abb. 61, 62) des Blutes zeigt bei beiden Salzen keine großen Schwankungen. Der BE-Wert (Abb. 63) sinkt in der $KHCO_3$-Gruppe initial signifikant ab, und steigt dann langsam wieder auf die Ausgangswerte an. Die Harn-pH-Werte unterliegen während der Salzgabe keinen großen Schwankungen, sinken aber nach Absetzen der Salze in der $NaHCO_3$–Gruppe (Abb. 66) ab und in der $KHCO_3$-Gruppe (Abb. 65) signifikant ab. Die NSBA-Werte unterliegen in der $KHCO_3$-Gruppe (Abb. 67) keinen großen Schwankungen. In der $NaHCO_3$–Gruppe (Abb. 68) sinken sie initial ab und erreichen dann wieder ihre Ausgangslage. Nach Beendigung der Salzapplikation sinken die NSBA-Werte in beiden Gruppen leicht ab. Die BSQ-Werte steigen in der $KHCO_3$–Gruppe (Abb. 69) signifikant an, fallen dann aber kontinuierlich bis nach dem Absetzen der Kationen ab. In der $NaHCO_3$–Gruppe (Abb. 70) sinken die BSQ-Werte erst ab und erreichen dann wieder ihre Ausgangslage. Der Säurengehalt im Harn sinkt nur bei den Kaliumsalzen signifikant ab (Tab. 33). Der Basengehalt bleibt unbeeinflusst. Bei den Natriumsalzen kommt es nicht zu einer Verringerung des Säurengehaltes im Harn (Tab. 33). Dies zeigt, dass die Kaliumsalze stärker alkalisch wirksam sind als die Natriumsalze.

Da hier ein Kationenüberschuss vorliegt, hätte man ein Ansteigen aller Werte bzw. eine Alkalose erwartet. Der pH-Wert im Blut und im Harn steigt in den Untersuchungen von GOFF u. HORST (1998b) unter der Zufuhr von Kationen an. Bei einer Erhöhung der DCAB steigt auch der Bicarbonatgehalt im Blut linear an. Die Niere scheidet kompensatorisch mehr Bicarbonat aus. Daraufhin steigen der Gehalt an Bicarbonat im Harn und der Harn-pH an (TUCKER et al., 1988). Auch in den Untersuchungen von TUCKER et al. (1988), JACKSON et al. (1992) und GOFF et al. (2003) steigt der Blut-pH linear mit steigender DCAB. Die Ergebnisse dieses Versuches stimmen damit nicht überein.

Die lineare Beziehung zwischen DCAB und Blut-pH gilt offenbar nicht für hohe DCAB-Bereiche. In diesem Versuch lag der DCAB-Wert bei 450 meq/kg TS. TUCKER et al. (1988) testete nur DCAB-Bereiche von – 100 bis 200 meq/kg TS. JACKSON et al. (1992) testete zwar Bereiche von 0 bis 520 meq/kg TS, jedoch an Kälbern. In den Untersuchungen von KENDALL et al. (1969) stieg der Harn-pH durch die Verabreichung von 226 g $NaHCO_3$ von 6,16 auf 8,02.

Nach ROSSOW et al. (1987) liegt der physiologische Harn-pH-Wert zwischen 7,8 und 8,4. Damit konnte der pH-Wert zwar durch den Einsatz von $NaHCO_3$ erhöht werden, jedoch nicht über den physiologischen Bereich hinaus. Man weiß, dass bei negativer und niedriger DCAB und in azidotischen Bereichen, die Parameter des Säuren-Basen-Haushaltes empfindlich reagieren und sofort dereguliert werden. Bei negativen und niedrigen DCAB-Werten verhalten sich Blut-pH und DCAB noch linear. Es scheint so zu sein, dass ein gewisser DCAB-Bereich in Richtung Alkalose nicht reguliert wird. Vergleichswerte von DCAB und den Parametern des Säuren-Basen-Haushaltes unter Einsatz saurer Salze bei ausgewachsenen Kühen bei derart hohen DCAB-Werten liegen nicht vor. Die Abhängigkeiten von DCAB und den Parametern des Säuren-Basen-Haushaltes werden unter 5.8. erläutert. Nach VAGNONI u. OETZEL (1998) ist andererseits die Aufrechterhaltung des pH-Wertes eines der wichtigsten Ziele der Säuren-Basen-Homöostase und unterliegt daher keinen großen Schwankungen. Ein anderer Grund dafür, warum die Werte nicht anstiegen, könnte beispielsweise das Dissoziationsverhalten von $NaHCO_3$ sein. Es ist möglich, dass $NaHCO_3$ nicht in dieser Form resorbiert wird. Es könnte sein, dass Natrium zusammen mit Chlorid aus dem Darm aufgenommen wird. Da Natrium ein starkes Kation und Chlorid ein starkes Anion ist, wäre die Wirkung dann wieder elektroneutral. Chlorid wird im Austausch mit HCO_3^- aus dem Gastrointestinaltrakt aufgenommen (TUCKER et al., 1988). Das Absinken einiger Parameter nach Beendigung der Salzapplikation zeigt, dass eine geringe alkalische Wirkung der Salze vorhanden war, obwohl die Parameter den physiologischen Bereich nicht überschritten haben.

5.4. Auswirkung einer kalziumarmen Fütterung und einer ausgeglichenen Kalziumversorgung

Die Parameter des Säuren-Basen-Haushaltes verhalten sich bei kalziumarmer Fütterung und bei ausgeglichener Kalziumversorgung nahezu identisch. Der Blut-pH-Wert sinkt in den Kalziumchloridgruppen (Abb. 71, 72) bei beiden Fütterungsarten signifikant ab, bei den Kalziumsulfatsalzen (Abb. 73, 74) sinkt er ebenfalls ab, jedoch nur bei der ausgeglichenen Versorgung signifikant.

Die BE- (Abb. 75 - 78) und NSBA-Werte (Abb. 83 - 86) fallen in beiden Salzgruppen bei beiden Fütterungsbedingungen signifikant ab. Bei dem Harn-pH (Abb. 79 - 82) liegen signifikante Unterschiede zwischen den Fütterungsbedingungen bei beiden Salzgruppen vor. Die Werte sinken aber in beiden Gruppen signifikant unter der Salzgabe ab und erreichen nach Absetzen der Salze wieder in etwa ihre Ausgangswerte. Die BSQ-Werte (Abb. 87 - 90) sinken ebenfalls unter der Salzgabe ab, unabhängig von der Kalziumversorgung.

Aus diesen Ergebnissen wird ersichtlich, dass in Bezug auf die Parameter des Säuren-Basen-Haushaltes der Grad der Kalziumversorgung keinen Einfluss auf die Wirkungen saurer Salze hat. Die Werte der Parameter zeigen abgesehen vom Harn-pH-Wert keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Fütterungsbedingungen. Dies steht im Widerspruch zu den Feststellungen von FREDEEN et al. (1988a, b), dass die Anionenrationen nur bei hoher Kalziumaufnahme ihre größtmögliche Wirkung voll entfalten können. Es ist jedoch deswegen keineswegs irrelevant, wie hoch der Kalziumanteil in der Ration ist. Beim Einsatz saurer Salze wird die Kalziumausscheidung mit dem Harn gesteigert (TAKAGI u. BLOCK, 1991b, c; WANG u. BEEDE, 1992). Dies ist unabhängig von dem alimentären Kalziumversorgungsgrad (LACHMANN et al., 1983). Bei einem zu geringen Kalziumgehalt in der Ration bzw. bei einer Kalziummangelversorgung kann es zu einer Hypokalzämie kommen (BLOCK, 1994; SANCHEZ, 1999). OETZEL et al. (1988) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass anionische Salze das Auftreten der präpartalen Hypokalzämie bei hoher Kalziumaufnahme effektiver senken als bei niedriger Kalziumaufnahme. Nach OETZEL (1993) kommt es bei einer Kalziumaufnahme unter 50 g/d zu klinischen Folgen. Deswegen muss das Kalziumangebot in der Futterration bei Verfütterung saurer Salze ausreichend hoch sein. Dies stimmt mit den Aussagen von BLOCK (1994) und SANCHEZ (1999) überein. Es ist jedoch zu beachten, dass hohe Kalziumgehalte in der Ration die Trockenmasseaufnahme bei gleichzeitigem Einsatz saurer Salze verringern (SANCHEZ, 1999). Deswegen sollte das Kalziumangebot der Ration pro Kuh 120 bis 180 g/d, (OETZEL et al., 1988; FÜRLL et al., 1996) 100 bis 150 g/d, (STAUFENBIEL u. ENGELHARD, 1999) bzw. 120 bis 150 g/d (SANCHEZ, 1999) betragen. Nach SANCHEZ (1999) sollte innerhalb dieser Grenzen eher weniger Kalzium bei höheren DCAB-Werten zugefügt werden und umgekehrt. SCHONEWILLE (1994b) empfiehlt hingegen eine kalziumarme Ernährung während des Einsatzes saurer Salze, um die Kalziumabsorption noch zusätzlich zu fördern. Eine erhöhte Kalziumabsorption durch den Einsatz saurer Salze konnten LOMBA et al. (1978) und VERDARIS u. EVANS (1976) jedoch nur bei positiver Kalziumbilanz feststellen.

Die Ammoniumwerte (Tab. 35, 37) steigen bedingt durch die Strohfütterung (s.a. 5.2.) und die Ansäuerung des Harnes (s.a. 5.1.) wieder extrem an. Abschließend sei noch auf den Säurengehalt des Harns hingewiesen. Er sinkt in der Kalziumchloridgruppe sowohl bei ausgeglichener als auch bei Kalziumunterversorgung signifikant ab (Tab. 35, 37). In der Kalziumsulfatgruppe beobachtet man hingegen bei der kalziumarmen Fütterung ein gleich bleibendes Niveau des Säurengehaltes und bei ausgeglichener Kalziumversorgung einen deutlichen Säurenanstieg im Harn. Der Basengehalt sinkt in beiden Gruppen und Fütterungen signifikant ab.

5.5. Auswirkungen einer einmaligen Gabe der Tagessalzmenge

Saure Salze lassen sich durch das Einmischen in das Futtermittel gut verabreichen. Auf diese Weise wird die zu verabreichende Menge des Salzes über den Tag der Kuh zugeführt.

In vielen kleineren Betrieben ist ein Untermischen jedoch nicht möglich. In diesem Fall muss das saure Salz bei den Fütterungen direkt dazu gegeben werden. Da diese Art der Verabreichung zeitintensiv ist, stellte sich die Frage, ob die gesamte Tagesdosis nicht einmalig verabreicht werden kann.

Die Ergebnisse des Wochenverlaufes (Abb. 91 - 100) zeigen, dass sich die Parameterverläufe der einmaligen Salzgabe im Vergleich zur zweimaligen Verabreichung (1. Woche Langzeitstudie) nur geringgradig unterscheiden. Alle dargestellten Parameter (Abb. 91 - 100) sinken unter der Salzgabe signifikant ab. Es liegt dabei die gleiche Dynamik vor, wie bei zweimaliger Gabe. Auffällig ist jedoch, dass die Werte der Kalziumchloridgruppe stärker abfallen als die der Kalziumsulfatgruppe. Daran ist erkennbar, dass Kalziumchlorid stärker wirksam ist als Kalziumsulfat. Dies stimmt mit der Aussage von OETZEL et al. (1991), GOFF u. HORST (1998b) und SANCHEZ (1999) überein. Nach OETZEL et al. (1991) und GOFF et al. (2003) werden durch Chloridsalze Harn- und Blut-pH stärker erniedrigt als durch die Sulfatsalze. Die Sulfatsalze weisen im Vergleich zu den Chloridsalzen nur eine ansäuernde Wirkung von 55-60% (GOFF et al., 2003) bzw. 60 % auf (TUCKER et al., 1991a).

Des Weiteren sinken die Werte vor allem in der Kalziumchloridgruppe (Abb. 91, 93, 95, 97, 99) bei einmaliger Gabe der gesamten Salzmenge stärker ab als bei zweimaliger Gabe. Dies ist in der Kalziumsulfatgruppe (Abb. 92, 94, 96, 98, 100) nicht so stark ausgeprägt. Da hierbei die Tagesmenge auf einmal verabreicht und nicht auf zwei Portionen aufgeteilt wurde und die Proben dann innerhalb von 3 bis 4 Stunden gewonnen wurden, kann es dazu kommen, dass die Werte bei doppelter Salzmenge erstmal stärker abfallen.

Anhand der Verläufe, die sich aus den Proben über die Woche ergeben, und da die Werte nicht in bedrohliche Bereiche absinken, käme aus dieser Sicht eine einmalige Gabe in Betracht. Verfolgt man jedoch den Verlauf der Parameter über den Tag anhand der Tagesprofile 1 und 2 (Tab. 15, 16), fällt auf, dass die Werte bis 12 und 15 Stunden nach der Salzgabe absinken und damit eine gute Ansäuerung erreicht wird. Danach kommt es jedoch zu einem Anstieg aller Parameter (Tab. 16). Dabei erreicht der überwiegende Anteil Werte, die sich oberhalb der Ausgangslage befinden. Die Werte der Kalziumsulfatsalze liegen nach 24 Stunden sogar wieder im physiologischen Bereich, die der Kalziumchloridgruppe noch unterhalb des physiologischen Bereiches, jedoch sind auch diese Werte um 06 Uhr zu hoch. Auch hier ist wieder deutlich erkennbar, dass Kalziumchloridsalze eine stärkere ansäuernde Wirkung haben als Kalziumsulfatsalze, deswegen hält ihre Ansäuerung länger an. Die Blutwerte der Kalziumsulfatgruppe liegen ab 22 Uhr nicht mehr in dem Bereich, der beim Einsatz saurer Salze erwünscht ist. Bei den Harnwerten ist dies ab 02 Uhr der Fall.
Anhand der Tagesprofile wird ersichtlich, dass die ansäuernde Wirkung der Salze, besonders der Kalziumsulfatsalze nicht über 24 Stunden anhält, wenn die Salze nur einmal täglich verabreicht werden, auch wenn dabei die gesamte Tagesmenge verabreicht wird. Die Werte sinken zwar jeden morgen nach der Gabe tiefer ab und erreichen über die Woche gesehen ausreichend ansäuernde Werte, über den Tagesverlauf jedoch betrachtet, reicht besonders bei den Kalziumsulfatsalzen eine einmalige Gabe nicht aus. Ob und wie sich diese Schwankungen im Tagesverlauf auf die Gebärpareseprophylaxe auswirken, kann hier nicht beurteilt werden.

5.6. Auswirkungen steigender Dosierungen von Kalziumsulfat (2,5 – 6,0 Äquivalente)

Bereits in der ersten Woche (Tab. 10 – 14 und Abb. 101 – 105) sinken alle Parameter signifikant ab. Diese Ergebnisse können als metabolische Azidose interpretiert werden. Die Werte (Tab. 10 - 14) sinken bei gleich bleibender Grundration mit steigenden $CaSO_4$-Mengen weiter kontinuierlich ab. Der Säurengehalt des Harns (Tab. 47) sinkt bei höheren Dosierungen von Kalziumsulfat ab. Dies steht ursächlich mit der reduzierten Futteraufnahme in Verbindung. Im Verlauf dieses Versuches stellt sich eine massive metabolische Azidose ein. Gegen Ende der zweiten Woche (3,0 Äquivalente / Tag 14) sind die Werte bereits zu stark abgesunken. Die Azidose ist zu weit fortgeschritten. Der Harn-pH lag beispielsweise bereits zwischen 5,80 und 6,15.

Nach JARDON (1995) sollte sich der pH-Wert bei Holsteinischen Kühen beim Einsatz saurer Salze nicht unter 6,0 bewegen, da die Azidose dann zu stark wird. Bereits bei 3,0 Äquivalenten war die maximale Verträglichkeitsgrenze bei dem ersten Tier erreicht. Diese Kuh war die leichteste in der Versuchsreihe und reagierte meistens schnell und sehr sensibel auf die Anionenapplikation. Die Mehrzahl der Tiere mussten bei 3,5 (n = 4/11) und 4,0 Äquivalenten (n = 3/11) aus der Versuchsreihe genommen werden. Die Tiere wurden bei zweimal hintereinander auftretender Verweigerung der Futteraufnahme aus dem Versuch genommen. Die Tab. 19 gibt die Werte wieder, die bei der Einstellung der Futteraufnahme vorlagen.

Tab. 19: Übersicht über die Parameterwerte bei Verweigerung der Futteraufnahme

Parameter	**Werte**	**Mittelwerte**
Blut-pH	7,19 bis 7,27	7,23
BE	-10 bis -16	– 12,6
Harn-pH	5,64 bis 6,15	5,85
NSBA (mmol/l)	- 125 bis – 256	- 174
BSQ	0,60 bis 0,95	0,80

Die Werte und Mittelwerte der Tab. 19 ergeben sich aus den zuletzt gemessenen Werten vor dem Absetzen des Salzes. Dabei wurden die Werte der Tiere 4 und 6 nicht miteinbezogen, denn bei diesen Tieren konnte trotz steigender Dosen Kalziumsulfat bis zu 6,0 Äquivalenten keine Einstellung der Futteraufnahme beobachtet werden. Diese Tiere unterliegen ab dem 29. Tag besonderen Bedingungen, da zu diesem Zeitpunkt das ihnen vorgelegte Heu gewechselt wurde. Das erste Heu hatte nur eine mäßige Akzeptanz. Aufgrund dessen wurde die Heumenge von täglich 8 kg/Kuh auf 5 kg/Kuh reduziert. Das neue Heu hatte eine sehr gute Akzeptanz und wurde wieder komplett aufgefressen (8kg). Die DCAB der Grundfutterration unterschied sich durch das neu verwendete Heu pro kg nicht (Futterration ohne Salz vorher 179 meq/kg TS / mit neuem Heu 183 meq/kg TS). Da die Akzeptanz jedoch besser war und damit auch die Menge des aufgenommenen Heus sich erhöht hatte, die Salzmenge aber unabhängig von der Futteraufnahme weiter zugeführt wurde, stieg nun bei diesen zwei Tieren der DCAB-Wert der aufgenommenen Ration erstmal wieder an (von - 440 auf – 315 meq/kg TS). Die Futteraufnahme verändert dadurch in diesem Fall die DCAB.

Die Menge des aufgenommenem Sulfates erhöhte sich jedoch weitergehend, so dass sich im weiteren Verlauf der letzten drei Wochen des Versuches der DCAB-Wert auch wieder verringerte (- 370, - 425, - 481 meq/kg TS). Man kann anhand der Tabellen erkennen, dass sich die Heuumstellung auf den Verlauf der Werte der Tiere 4 und 6 deutlich auswirkt. Mit der verbesserten Futteraufnahme steigen die Blutwerte (Tab. 10, 11) wieder kontinuierlich bis zum Ende der Versuchsphase an, obwohl die $CaSO_4$-Menge wöchentlich weiter erhöht wurde und der DCAB-Wert bis auf – 481 (Tab. 5) verringert wurde. Die Harnwerte (Tab. 12 - 14) halten ab der Heuumstellung ihr Niveau, bei ihnen ist zwar kein Anstieg zu erkennen, es kommt aber auch zu keinem weiteren Absinken der Werte.

Durch die steigenden Dosen von $CaSO_4$ hätte man auch nach der Heuumstellung Anzeichen einer Azidose und Anzeichen einer Schwefelintoxikation erwartet. Die Azidose stellte sich bei allen Tieren nur bis zur Heuumstellung ein. Die von STÖBER u. SCHOLZ (2002) beschriebenen gastrointestinalen, respiratorischen und zentralnervösen Störungen bei übermäßiger Schwefelgabe konnten in diesem Versuch jedoch weder vor noch nach der Heuumstellung beobachtet werden. Nach STÖBER u. SCHOLZ (2002) sollte der Schwefelgehalt 0,3 %, nach GOFF (2000) 0,4% und nach STAUFENBIEL (2000) 0,45% der Trockenmasse des Futtermittels nicht übersteigen. Auch die klinischen Zeichen einer Polioencephalomalazie, die von GOFF u. HORST (1996) bei einem Schwefelgehalt von über 0,4% beschrieben wurden, traten nicht auf. Die Tiere 4 und 6 schienen nach der Heuumstellung und der damit verbundenen Verbesserung der Futteraufnahme von den hohen Dosen $CaSO_4$ kaum beeinflusst zu sein. Dabei wurde die Salzgabe nach der Umstellung noch von 4,5 auf 6,0 Äquivalente erhöht.

OETZEL (1993) und OETZEL u. BARMORE (1993) geben die maximale Tagesdosis mit 3,0 Äquivalenten pro Tier an. STAUFENBIEL (2000) gibt für den Einsatz saurer Salze eine obere Grenze von 300 meq Anionen/kg TS pro Tier und Tag an. Der durch die sauren Salze zu erreichende DCAB-Wert sollte nach MOORE et al. (2000) und FÜRLL et al. (1996) zwischen – 100 und – 150 meq/kg TS liegen. Diese Grenzen für den maximalen Schwefelgehalt, die empfohlene Salzmenge sowie den empfohlenen DCAB-Wert wurden in diesem Versuch bei weitem überschritten. Ein Grund, warum die Tiere trotz der hohen Dosierungen keine klinisch auffälligen Symptome zeigten, könnte das Absorptionsverhalten von Sulfaten sein. GOFF et al. (2003) vermuten, dass die Absorption von Sulfaten ab höheren Dosierungen nicht mehr stattfindet oder dass die Sulfate schneller aus dem Blut in den Harn oder in die Galle aufgenommen werden. Von dort aus haben sie auf den Säuren-Basen-Status im Blut keine großen Effekte mehr.

Dies könnte ein Grund sein, warum die Tiere die großen Mengen des Sulfates, einmal aus Sicht der Sulfatintoxikation, aber auch bezüglich der Anionen so gut tolerierten. Der Versuch zeigt aber auch, wie wichtig eine gute Futteraufnahme während des Einsatzes saurer Salze ist.

5.7. Tagesprofile

Die Tagesprofile 1 und 2 sind bereits unter 5.5. im Zusammenhang mit dem dazugehörigen Versuch besprochen worden. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Tagesprofile bei einmaliger Gabe, lässt sich bei den Tagesprofilen bei zweimaliger Salzgabe eine über den Tag gleich bleibende Ansäuerung erkennen. Es liegen zwar signifikante Unterschiede zur Ausgangsprobe bei den pH- und BE-Werten beider Tagesprofile vor, jedoch kann man sagen, dass sich die Werte über den Beprobungszeitraum von 24 Stunden auf einem vergleichbaren Niveau befinden.

Diese Ergebnisse sind gerade für den praktischen Einsatz saurer Salze von besonderer Bedeutung, da der Einsatz von Anionen eine Kontrolle erfordert. Die Messung und Beobachtung des Harn-pH-Wertes ist beispielsweise eine geeignete Methode den Erfolg der Anionenrationen in der Prävention von Milchfieber zu bewerten (GAYNOR et al., 1989; JARDON, 1995; DAVIDSON et al., 1995). Des Weiteren stellt die Bestimmung der NSBA eine gute Diagnosemöglichkeit zur Beurteilung des Säuren-Basen-Haushaltes dar. Die vorliegenden Ergebnisse der Tagesprofile deuten daraufhin, dass die Probennahme unabhängig von der vergangenen Zeit nach der Salzgabe durchgeführt werden kann, wenn die ausreichende Salzmenge aufgeteilt auf zwei Gaben erfolgte.

5.8. Abhängigkeit des DCAB-Wertes

Die graphischen Darstellungen der Abhängigkeiten der DCAB zu den verschiedenen Parametern zeigt bei den pH- (Abb. 106) und BE-Werten (Abb. 107) eine Sättigungskurve und bei den Harn-pH- (Abb. 108), NSBA- (Abb. 109) und BSQ-Werten (Abb. 110) einen linearen Verlauf. Das bedeutet, dass die pH- und BE-Werte im Blut bis zu einem gewissen Punkt mit steigender DCAB auch ansteigen. Dies verhält sich jedoch in sehr hohen DCAB-Bereichen nicht so. Ab einem DCAB-Wert von 200 – 400 mmol/l steigen die pH- und BE-Werte nicht weiter an, sondern halten in etwa ihr Niveau. Das bedeutet, dass die azidotischen Bereiche schnell und empfindlich dereguliert werden, die alkalotischen Bereiche jedoch nicht. Nach TUCKER et al. (1988) steigen der Blut-pH und der Bicarbonatgehalt des Blutes linear mit steigender DCAB. JACKSON et al. (1992) kam zu den gleichen Ergebnissen. In seinen Untersuchungen stieg auch der pCO_2 linear mit steigenden DCAB-Werten.

Ein Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse könnte der unterschiedliche DCAB-Bereich sein. TUCKER et al. (1988) testete nur DCAB-Bereiche von – 100 bis 200 meq/kg TS. JACKSON et al. (1992) testete zwar Bereiche von 0 bis 520 meq/kg TS, jedoch an Kälbern. Die Harnwerte pH, NSBA und BSQ zeigen in diesem Versuch einen linearen Verlauf. Dies stimmt mit den Ergebnissen von TUCKER et al. (1988) und JACKSON et al. (1992) überein. Nach TUCKER et al. (1988) steigt der Harn-pH-Wert mit steigender DCAB linear und quadratisch an, nach JACKSON et al. (1992) steigt er linear mit steigender DCAB.