

## 5. Diskussion

### 5.1 Allgemein

Im Jahr 2005 wurden in Deutschland 48,15 Millionen Schweine geschlachtet (BMELV 2005). Untersuchungen über die Auswirkungen von Pneumonien auf die Effektivität der CO<sub>2</sub>-Betäubung fehlen noch weitgehend.

Es scheint daher notwendig, einen Überblick über die Betäubungstiefe, die Dauer des Bewußtseinsverlustes und des Schmerzempfindens bei den Tieren zu bekommen: Pneumonien spielen in der intensiven Schweinehaltung eine bedeutende Rolle, was sich sowohl durch klinische Erscheinungen als auch durch Schlachtbefunde belegen lässt (KÖFER et al. 1993; JORGENSEN 1992; ZIMMERMANN und PLONAIT 1997).

Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden Versuche unternommen, Schlachtschweine durch CO<sub>2</sub> zu betäuben (BLOMQUIST 1957). Mitte des vorigen Jahrhunderts wurde die Methode erneut aufgegriffen und der Einsatz von CO<sub>2</sub> in den 1950er Jahren in der Betäubung etabliert. Hierdurch wurde die Schlachttätigkeit sowohl hinsichtlich des Arbeitsschutzes als auch des Tierschutzes erleichtert; bis vor 1950 wurden, zumindest in den USA, Schweine ohne jegliche Betäubung an den Hinterläufen aufgehängt und anschließend entblutet (HERTRAMPF und MICKWITZ 1979).

In Deutschland sind Konzentration, Dauer und Zeit zwischen Betäuben und Entbluten in der Tierschutzschlacht-Verordnung geregelt.

Im Vergleich zu anderen Betäubungsverfahren ist die CO<sub>2</sub>-Betäubung in Anschaffung und Unterhalt teurer. Dieser Nachteil kann aber durch die möglichen, sehr hohen Schlachtzahlen ausgeglichen werden (WERNBERG 1978).

Im Wesentlichen gibt es vier verschiedene Modelle einer CO<sub>2</sub>-Betäubungsanlage (Dip-Lift, Ovaltunnel, Pariser Rad, Kompaktanlage), von denen sich die modernen Systeme ableiten lassen ([www.butina.dk](http://www.butina.dk); HERTRAMPF und MICKWITZ 1979).

Das öffentliche Interesse bezieht sich nicht nur auf verbraucherrelevante Aspekte der Tierhaltung (beispielsweise BSE-Problematik, „Lebensmittelskandale“), sondern auch auf den Tierschutzaspekt. Qualitätssicherung beim Fleisch beinhaltet damit den gesamten Ablauf der Produktion tierischer Lebensmittel, worin nach dieser Auffassung auch Haltung, Transport, Betäubung und Tötung der Nutztiere enthalten sind.

## 5.2. Diskussion Material und Methode

### 5.2.1. Betrieb und Tiere

Die Untersuchungen wurden in zwei EU- zugelassenen Schlachtbetrieben durchgeführt. In Betrieb 1 wurden mehr als 1000 Tiere pro Stunde, in Betrieb 2 mehr als 300 Tiere pro Stunde geschlachtet.

In Betrieb 1 werden Betäubungslifte eingesetzt, die bis zu 8 Tiere gleichzeitig fassen. Betrieb 2 verwendet Gondeln mit einer Kapazität für zwei Tiere, des weiteren standen zum Zeitpunkt der hier beschriebenen Untersuchungen 120 Sekunden bei einer Konzentration von 90% CO<sub>2</sub> in Betrieb 1 einer Kombination von 90 Sekunden bei 90 % CO<sub>2</sub> in Betrieb 2 gegenüber.

An den Untersuchungstagen kamen Tiere zur Schlachtung, bei denen Lungenerkrankungen als Bestandsproblem bekannt waren. So lag der Anteil an Lungen mit pathomorphologischem Befund in Betrieb 1 bei 41%, in Betrieb 2 bei 57 %. Es wurden ausschließlich Mastschweine untersucht.

### 5.2.2. Methodik der Probennahme

Hinsichtlich der Reflexerfassung und der Blutentnahme waren organisatorisch bedingte Unterschiede vorhanden: In Betrieb 1 konnten die Reflexe erst unmittelbar vor dem Stechen der Tiere erfasst werden, in Betrieb 2 erfolgte dies aus Platzgründen direkt nach dem Auswurf. Als Überblick über die entsprechenden Zeitfenster die folgenden Zahlen: In Betrieb 1 wurde im Mittelwert das erste Tier, welches die Betäubungsanlage verließ, nach 1:09 min entblutet und das letzte Tier nach 1:41 min. In Betrieb 2 wurde das erste Tier im Mittelwert nach 0:28 min. und das letzte Tier nach 0:35 min. entblutet.

Die Zahlen belegen, dass in Betrieb 1 die Zeit zwischen Betäubung und Stechen deutlich länger als in Betrieb 2 war. Hieraus folgt, dass auch die Blutentnahme- in Bezug auf die Zeit nach dem Verlassen der Betäubungsanlage- in Betrieb 1 später erfolgte.

### 5.2.3. Überprüfung der Reflexe

Zur Überprüfung der Reflexe wurden die Tiere unmittelbar vor dem Entbluten auf Reflexe (Corneal- und Nasenscheidewandreflex) sowie auf Reaktionen (Schnappatmung und Bewegungen der Gliedmassen) untersucht.

Die Eignung der Reflexe als Parameter zur Feststellung des Betäubungserfolges erfolgte in Anlehnung an die Literatur. GREGORY et al. (1987) gehen bei Abwesenheit des Cornealreflexes von tiefer Bewusstlosigkeit aus, LEACH und MICKWITZ (1977) sehen den Zustand völliger Bewusstlosigkeit nur im Falle erloschener Reflexe, HERTRAMPF und MICKWITZ (1979) betrachten die Reflexantwort als Maß zur Bestimmung der Betäubungstiefe und REMIEN (2001) zog neben Cornealreflex und Nasenscheidewandreflex auch die Eigenbewegungen und Schnappatmung zur Festlegung einer effektiven Betäubung heran.

Eine Quantifizierung der Reflexantwort erfolgte nicht, so dass beim Cornealreflex ein spontanes Blinzeln ohne Berührung der Cornea in gleicher Weise als positiver Cornealreflex angesehen wurde, wie auch das manuelle Auslösen desselben. Nach GREGORY et al. (1987) ist spontanes Blinzeln als ein im Wiedererlangen des Bewusstseins höher einzustufendes Ereignis zu werten als das Vorliegen eines auslösbaren Cornealreflexes. Auch in Bezug auf den Nasenscheidewandreflex, die Schnappatmung und die Eigenbewegungen der Tiere wurde keine Unterteilung vorgenommen.

In diesem Zusammenhang zur Aussagekraft der Reflexe: Ein positiver Reflex ist nicht zwingend an Bewusstsein gebunden. Hier liegt eine Einschränkung der Studie vor, da die Reflexe als Bewusstsein interpretiert wurden, weil kein weiteres Hilfsmittel (EEG) vorlag.

### 5.2.4 Untersuchung der Atemgase (Blutgase)

Nach REINHOLD und FÖDISCH (1993) ist die Blutgasanalyse das Kernstück einer respiratorischen Funktionsanalyse.

Als besonders wichtiger Parameter gilt der Blut-pH-Wert, da ein fallender Wert einen Hinweis auf die Betäubungstiefe darstellen kann. ERHARDT et al. (1989) konnten bei fallendem pH-Wert eine Abstufung in der Wahrnehmung bei Schweinen dokumentieren, so dass bei einem pH-Wert  $<6,7$  bei den im Versuch eingesetzten Schweinen Reaktionslosigkeit

eintrat. Auch RAJ (1999) verweist auf die Wichtigkeit der Absenkung des pH-Wertes, um Bewusstlosigkeit herbeizuführen.

Im Gegensatz zu den Versuchen von ERHARDT et al. (1989), die die Blutgase aus arteriellem Blut bestimmten, wurden in der eigenen Untersuchung die Blutgase aus Mischblut, welches beim Entbluten der Tiere gewonnen wurde, bestimmt. Dies war auch situationsbedingt: Bei der Entblutung kann es sich nur um Mischblut handeln. Es ist jedoch davon auszugehen, dass aufgrund der hohen Konzentration von  $\text{CO}_2$  in der Atemluft Unterschiede nicht vorliegen konnten.

#### 5.2.5. Erfassung des pathologisch-anatomischen Status

Eine Untersuchung am lebenden Tier im Hinblick auf das Vorliegen von möglicherweise klinisch manifesten Lungenerkrankungen war nicht möglich. Die Einstufung in „Lunge mit pathomorphologischem Befund“ stützte sich ausschließlich auf die Untersuchung der Lunge am geschlachteten Tier. Beim Vorliegen von Veränderungen wurden Umfang (gering/mittelgradig und hochgradig) sowie Lokalisation (kraniale und kaudale Lungenbezirke) dokumentiert.

#### 5.2.6. Überprüfung der SID

Das Stewart-Modell gilt als ein alternativer Ansatz zur Einschätzung des Säure-Basen-Haushaltes. Es beinhaltet drei abhängige Variablen ( $\text{pH}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), die sich nur dann verändern können, wenn eine der drei unabhängigen Variablen dies zulässt. Zu diesen unabhängigen Variablen zählt neben der Gesamtkonzentration aller schwachen Säuren  $[\text{A}^-]$  und dem  $\text{PCO}_2$  auch die strong ion difference (SID) welche sich als Differenz der Summe aller starken Kationen minus der Summe der starken Anionen darstellt. Stewart wertet die SID als Hauptdeterminante des Säuren-Basen-Haushalts. Die wichtigsten positiv geladenen Ionen, die in die SID eingehen, sind  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$ . Die relevantesten negativ geladenen Anteile sind  $\text{Cl}^-$  und  $\text{Lactat}^-$ . Zwischen beiden Gruppen muss prinzipiell aufgrund des Gesetzes der Elektroneutralität Gleichgewicht bestehen; die positive Ladung muss der negativen Ladung entsprechen (REHM et al. 2004).

Nach STÄMPFLI und CARLSON (2001) und CONSTABLE (1997) kann die Bestimmung nach der Formel (Natrium + Kalium) – (Chlorid + Laktat) erfolgen. Dies ist bedingt durch die Tatsache, dass diese Stoffe in deutlich höheren Konzentrationen in Körperflüssigkeiten

vorhanden sind als andere Ionen und deshalb die wesentlichen Beeinflussungsfaktoren der SID sind.

In der eigenen Untersuchung wurde nach diesem Schema gearbeitet, wobei jedoch auf die Bestimmung von Laktat verzichtet wurde, da die SID nach CONSTABLE (1997) und STÄMPFLI und CARLSON (2001) mit hinreichender Sicherheit unter der Verwendung der wichtigsten „strong ions“ des Serums berechnet werden kann. Sie wird im Folgenden als SID3 bezeichnet, da sie sich auf die Determinanten  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  und  $\text{Cl}^-$  beschränkt:  $[\text{SID3}] = [\text{Na}^+] + [\text{K}^+] - [\text{Cl}^-]$ .

Ziel der Bestimmung der SID3 im Rahmen des Stewart-Modells ist die Berücksichtigung der Elektrolyte als metabolische Komponenten des Säuren-Basen-Haushaltes. Diese fallen im traditionellen Ansatz der Henderson-Hasselbalch-Gleichung nicht ins Gewicht. Dieser herkömmliche Ansatz zur Beschreibung des Säure-Basen-Gleichgewichts konzentriert sich darauf, wie der  $\text{CO}_2$ -Partialdruck ( $\text{PCO}_2$ ), die Bicarbonat-Konzentration ( $[\text{HCO}_3^-]$ ), der negative Logarithmus der Gleichgewichtskonstante ( $\text{pK}_1$ ) und die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  im Plasma in ihrem Zusammenspiel den pH-Wert im Plasma bestimmen (DE BARROS FILHO 2002).

Im Gegensatz zu Henderson-Hasselbalch wird bei Stewart davon ausgegangen, dass die metabolische Acidose nicht durch Sekretion von  $\text{H}^+$  oder  $\text{HCO}_3^-$  sondern durch tubuläres Handling der Elektrolyte (insbesondere Natrium, Kalium und Chlorid) in den Nieren reguliert wird. Die völlig andere Herangehensweise von Stewart an die Erklärung des Säuren-Basen-Haushaltes wird besonders deutlich aus der Tatsache, dass hier davon ausgegangen wird, dass  $\text{NaHCO}_3^-$  nicht aufgrund des  $\text{HCO}_3^-$  puffernd wirkt, sondern durch das stark basische Kation Natrium (HARTMANN persönl. Mitteilung).

### **5.3. Veränderung der SID3 in Zusammenhang mit der $\text{CO}_2$ -Betäubung**

Die ermittelten Werte lagen für Natrium zwischen 125 und 154 mmol/l. In Betrieb 1 wiesen 151 Tiere von 300 Tieren Natrium-Werte über dem physiologischen Wert von 139 mmol/l (MÄNNER und BRONSCH 1987) auf, im zweiten Betrieb 352 von 420 Tieren. Die ermittelten Werte für Natrium lagen nur geringfügig über den physiologischen Werten (HARTMANN pers. Mitteilung).

Die Kalium-Werte waren dagegen deutlicher erhöht: In Betrieb 1 lag bei 299 von 300 Tieren die Konzentration über dem Grenzwert von 6 mmol/l. Der Mittelwert befand sich bei 11,7

mmol/l. In Betrieb 2 zeigten sämtliche (n:420) Tiere erhöhte Kalium- Werte. Hier lag der Mittelwert bei 14,9 mmol/l.

Die Ursache für den Anstieg des Kalium-Gehaltes nennt HARTMANN (1995). Er verweist auf die Abhängigkeit der Kalium-Verteilung zwischen extra- und intrazellulärem Kompartiment in Bezug auf den pH-Wert. Ein niedriger pH-Wert führt im Austausch gegen  $K^+$  zur Aufnahme von  $H^+$ -Ionen in die Zelle. Eine azidotische Stoffwechsellage führt daher zu einer Hyperkaliämie.

Die Chlorid-Werte lagen sowohl in Betrieb 1 als auch in Betrieb 2 im physiologischen Bereich (Mittelwert für Betrieb 1: 99,7 mmol/l; für Betrieb 2: 94,3 mmol/l).

Aus den erhöhten Werten für Kalium sollte ein Anstieg der SID3 resultieren. Die ermittelten Werte reichen im Minimum von 46,3 mmol/l und im Maximum bis 74,5 mmol/l. Jedoch muss die Frage, ob in der vorliegenden Untersuchung erhöhte SID3-Werte auftraten, offen bleiben: Referenzwerte für das Schwein fehlen bislang. Orientierend können für das Pferd Referenzwerte genannt werden, die zwischen 38 und 44 mmol/l liegen (STÄMPFLI und CARLSON 2001).

Da die SID gemäss dem Stewart-Modell als unabhängige Variable gilt, kann zwar durch eine Veränderung des Wertes die abhängige Variable „pH“ moduliert werden. Dies konnte jedoch in der vorliegenden Untersuchung nicht erwartet werden, da sich eine metabolische Korrektur der vorliegenden Azidose nicht so schnell einstellen kann: Deutliche Veränderungen der SID(3) werden durch den Magen-Darm-Kanal und die Niere reguliert. Veränderungen der SID3 finden sich erst in einem Zeitrahmen von ca. sechs Stunden. Die vorliegende Azidose dürfte daher entscheidend auf die Erhöhung der unabhängigen Variable  $PCO_2$  zurückzuführen sein (HARTMANN pers. Mitteilung).

## **5.4. Verhältnis der ermittelten Parameter zum Lungenbefund**

### 5.4.1. $PCO_2$ und Lungenbefund

Die in der Untersuchung ermittelten Blutgaswerte zeigten hohe  $PCO_2$ -Werte, die mit Bereichen um 25 kPa in Betrieb 1 und mehr als 15 kPa in Betrieb 2 bis um das vierfache über den physiologischen Werten lagen, die im Durchschnitt mit 6,3 kPa angegeben werden (MARTOFT 2001).

Die ermittelte Signifikanz ließ jedoch in Bezug auf die Höhe des  $\text{PCO}_2$  keinen Unterschied zwischen Tieren mit und ohne pathologischen Lungenbefund zu: beide Gruppen lagen mit ihren Medianwerten im gleichen Bereich. Damit scheint für die untersuchten Betriebe belegt, dass die Aufnahme des  $\text{CO}_2$  bei den Schweinen in den Stadien der Pneumonie, wie sie hier vorgefunden wurden, nicht beeinträchtigt war.

Als Ursache kommt in Betracht, dass  $\text{CO}_2$  aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften auch in den ggf. durch eine Pneumonie beeinträchtigten Lungen ausreichend schnell anfluten kann. Die Ursache, warum  $\text{CO}_2$  bei hoher atmosphärischer Konzentration rasch im Gewebe ansteigt, liegt an dem 20mal höheren Diffusionskoeffizienten (NOWAK et al. 1999; HARTMANN 1994). Trotz eines geringen Gradienten des  $\text{CO}_2$ -Partialdrucks zwischen Alveolen und dem venösen Blut überwindet  $\text{CO}_2$  sehr schnell bereits im ersten Achtel der alveolären Kontaktzeit die Kapillarwand.

Als weiterer möglicher Einflussfaktor muß erwähnt werden, dass die Tiere ausschließlich hinsichtlich der Befunderhebung an der ausgeschlachteten Lunge als Tiere mit und ohne pathomorphologischen Befund eingestuft wurden. Eine Überprüfung, ob es sich auch um klinisch ausgeprägte Veränderungen handelte, die Hinweis auf einen ineffektiven Gasaustausch zuließen, konnte nicht erfolgen.

#### 5.4.2. $\text{PO}_2$ und Lungenbefund

Die Tiere zeigten  $\text{PO}_2$ -Werte, die für eine mäßig ausgeprägte Hypoxämie sprachen: Die physiologischen Werte liegen im Durchschnitt für arterielles Blut bei 11,4 kPa, für venöses Blut bei 4,2 kPa (MARTOFT 2001). In Betrieb 1 wurden sowohl bei Tieren mit als auch ohne pathomorphologischen Veränderungen am Lungenparenchym, Werte unter fünf kPa gefunden. In Betrieb 2 lag die Werte in beiden Befundgruppen zwischen 2,5 und 5 kPa.

Diese Werte decken sich mit den von FORSLID und AUGUSTINSSON (1988) erhobenen Werten von < 4kPa nach 45 sec. Inhalation von 80%  $\text{CO}_2$  sowie den Beobachtungen von HOENDERKEN et al. (1979), die ebenfalls bei einer Konzentration von 80%  $\text{CO}_2$  Hypoxie, sowie darüber hinaus, Erstickungsanzeichen dokumentierten. Die Hypoxämie ist als typisch für eine  $\text{CO}_2$ -Betäubung zu werten (FORSLID und AUGUSTINSSON 1988).

In der Untersuchung war in Bezug auf die Lungen mit und ohne pathomorphologischen Veränderungen keine Korrelation nachweisbar.

Veränderungen des  $\text{PO}_2$  können sich sowohl aus dem Vorhandensein von Diffusions-, Ventilations-, Perfusions- und Distributionsstörungen entwickeln (HARTMANN 1994). Es

stellt sich dann ein veränderter  $PO_2$  ein, was klinisch als respiratorische Partialinsuffizienz bezeichnet wird. Störungen der äußeren Atmung manifestieren sich grundsätzlich erst in einem Abfall des  $PO_2$ -Wertes. Der  $PCO_2$  ist zu Beginn noch unverändert (REINHOLD und FÖDISCH 1993), was sich aus der im Vergleich zum  $O_2$  schnelleren Elimination des  $CO_2$  erklärt (HARTMANN 1994).

#### 5.4.3. pH und Lungenbefund

Bei allen untersuchten Tieren zeigte sich eine massive Absenkung des pH-Wertes. Der Median lag in Betrieb 1 im Bereich von pH 6,9 im Betrieb 2 lag der pH bei 7,0. Diese acidotische Stoffwechsellage war jedoch sowohl in der Gruppe „Lunge mit Befund“ als auch bei den Tieren „Lunge ohne Befund“ zu finden; ein signifikanter Unterschied war nicht festzustellen.

Daraus ist für diese Untersuchung zu folgern, dass eine durch das  $CO_2$  bedingte Absenkung des pH-Wertes nicht in Zusammenhang mit dem Lungenzustand gebracht werden kann. Eine verminderte und damit unzureichende Aufnahme des Betäubungsgases konnte demnach bei Tieren mit Veränderungen am Lungenparenchym nicht gefunden werden.

#### 5.4.4. Cortisol und Lungenbefund

In beiden Betrieben lag der Median der Cortisolwerte bei den Tieren „Lunge ohne Befund“ über dem der Tiere „Lunge mit Befund“. Die höchsten Werte wurden in Betrieb 1 gemessen. Aus den gewonnenen Werten einen Rückschluß auf die Verbindung zu einem bestimmten Lungenbefund zu schließen, ist jedoch problematisch. Zum einen, weil eine aus der  $CO_2$ -Betäubung möglicherweise resultierende Steigerung des Cortisols aufgrund des kurzen Intervalls zwischen Betäubung und Probennahme noch nicht in seiner gesamten Ausprägung sichtbar sein muss (HARTMANN persönl. Mitteilung).

Zum anderen bestanden womöglich unbekannt Einflußfaktoren, deren Wirkung auf einen Anstieg nicht berücksichtigt werden konnten: hier sind Be- und Entladen, Transport und Zutrieb zur Betäubung zu zählen. So fanden FORSLID und AUGUSTINSSON (1988) in der Zeit zwischen Transfer der Tiere bis unmittelbar vor der Gasexposition einen deutlichen



Anstieg. AUSSEL (2001) registrierte auch Unterschiede in der Höhe des Cortisolwertes zwischen verschiedenen Schlachtbetrieben.

#### 5.4.5. Reflex und Lungenbefund

Analog zu dem Verhältnis zwischen Blutgasanalyse und Lungenbefund fand sich bei der Auswertung der Reflexe kein statistisch belegbarer Zusammenhang: Reflexe traten bei den Tieren beider Betriebe auf, ohne daß Unterschiede zwischen den Befundgruppen vorhanden waren.

#### 5.4.6. SID3 und Lungenbefund

Der als Größe zur Bestimmung der SID3 dienende Elektrolyt-Wert Kalium war zwar verändert; der Organismus reagierte auf die durch das CO<sub>2</sub> hervorgerufene respiratorische Acidose mit Verschiebungen zwischen extra- und intrazellulärem Kompartiment.

Eine Unterscheidung zwischen Tieren mit und ohne Befund war jedoch in beiden Betrieben nicht möglich.

#### 5.4.7. Massiver Lungenbefund in Kombination mit den Parametern

Im Folgenden ist eine separate Analyse für die Bestände mit „massivem“ Lungenbefund in Verbindung mit den erhobenen Parametern vorgenommen. Als „massiver“ Lungenbefund sind hier solche Tiere klassifiziert, bei denen hochgradige pathomorphologische Veränderungen an mindestens einem Quadranten gemäss dem verwendeten Untersuchungsbogen dokumentiert wurden.

Im Zusammenhang von PCO<sub>2</sub> und Lungenbefund zeigt sich das bereits oben beschriebene Bild: In Betrieb 1 finden sich Werte um 25 kPa sowohl für die Gruppe mit, als auch ohne hochgradigem Lungenbefund, in Betrieb 2 lag der der PCO<sub>2</sub> in beiden Gruppen bei mehr als 15 kPa.

Bei dem Vergleich von PO<sub>2</sub> und hochgradigem Lungenbefund findet sich mit Medianwerten unter 5 kPa in Betrieb 1 und Werten um 2,5 kPa in Betrieb 2 ebenfalls ein ähnliches Bild.

Auch hinsichtlich des pH-Wertes sind keine Abweichungen bei Tieren mit ausgeprägteren Lungenbefunden vorhanden: Werte um 6,9 in Betrieb 1 und Werte um 7,0 in Betrieb 2.

Letztgenannt die Überprüfung der Kombination von Reflextätigkeit/hochgradige Veränderungen am Lungenparenchym; der Mann-Whitney-U-Test ergab in beiden Betrieben kein signifikantes Ergebnis.

## **5.5. Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Reflexen und den ermittelten Parametern**

### 5.5.1 Auftreten von Reflexen in beiden Betrieben

#### 5.5.1.1. pH und Reflex

pH-Wert in Betrieb 1: der Median lag bei vorhandenen Reflexen bei 7, im Falle der erloschenen Reflexe bei 6,9. Das Ergebnis ist statistisch signifikant; ein niedrigerer pH korreliert mit erloschener Reflextätigkeit.

pH-Wert in Betrieb 2: der Median lag in beiden Fällen (Reflex auslösbar oder nicht auslösbar) bei pH 7. Es war kein signifikanter Unterschied zu ermitteln, da die pH-Werte hier sowohl bei Tieren mit als auch ohne Reflexantwort über den ermittelten Werten aus Betrieb 1 lagen. Daher kann für die untersuchten Schlachtbetriebe kein pH-Bereich festgelegt werden, unterhalb dessen von einer reflexlosen Betäubung ausgegangen werden kann.

#### 5.5.1.2. PCO<sub>2</sub> und Reflex

PCO<sub>2</sub> in Betrieb 1: der Median bei vorhandenen Reflexen lag unter 20 kPa, bei negativer Reflexantwort bei 25 kPa. Eine statistische Signifikanz war vorhanden.

In Betrieb 1 wurde die Verbindung zwischen PCO<sub>2</sub>-Wert und der Häufung von Reflexen deutlich. Die eingeatmete Menge CO<sub>2</sub> senkt den pH-Wert ab, worauf der narkotische Effekt beruht.

PCO<sub>2</sub> in Betrieb 2: in beiden Gruppierungen lagen die Werte unter 20 kPa. Statistische Signifikanz war nicht abzuleiten. Daher kann in Bezug auf die Untersuchung weder ein Partialdruckbereich als Grenzwert für eine reflexlose Betäubung noch für ein vermehrtes Auftreten von Reflexen abgeleitet werden.

Die Beobachtungen aus Betrieb 1 waren nicht auf Betrieb 2 übertragbar.

#### 5.5.1.3. PO<sub>2</sub> und Reflex

PO<sub>2</sub> in Betrieb 1: der Median bei vorhandenen Reflexen lag über 5 kPa, bei erloschenen Reflexen bei 3 kPa. (Statistische Signifikanz )

PO<sub>2</sub> in Betrieb 2: beide Gruppen lagen im Bereich von 3 kPa. Der signifikante Zusammenhang zwischen PO<sub>2</sub>-Wert und dem Auftreten von Reflexen in Betrieb 1 konnte in Betrieb 2 nicht reproduziert werden. Ein direkter Zusammenhang zwischen Höhe des PO<sub>2</sub> und dem Fehlen bzw. Vorhandensein einer Reflexantwort kann für die untersuchten Betriebe daher nicht festgelegt werden.

#### 5.5.1.4. SID3 und Reflex

SID3 in Betrieb 1: Die errechnete Größe lag bei 53 mmol/l im Falle von vorhandenen Reflexen sowie bei 57 mmol/l bei erloschenen Reflexen.

SID3 in Betrieb 2: beide Werte lagen bei 57 mmol/l.

#### 5.5.1.5. Cortisol und Reflex

Cortisol in Betrieb 1: bei positiver Reflexantwort lag der Median zwischen 4 und 6 ng/ml, bei Tieren ohne Reflexe bei 7 ng/ml.

Cortisol in Betrieb 2: Positiv ermittelte Reflexantwort: 4,5 ng/ml, negativ ausgefallene Reflexüberprüfung: 5 ng/ml.

Im Ergebnis lagen die Cortisol-Werte in beiden Betrieben für Tiere mit negativer Reflexantwort im Median jedoch höher. In Anbetracht dessen, dass Reflexe als Parameter zur Bestimmung der Bewusstlosigkeit dienen und Cortisol als eindeutiger Streßparameter (BALDWIN et al. 1974) gilt, sollte der postulierte Zusammenhang zwischen erhöhtem Cortisol und dem vermehrten Auftreten von Reflexantworten überprüft werden.

Daher ist für die untersuchten Betriebe der Cortisol-Wert nicht als geeigneter Parameter zur Einschätzung der reflexlosen Betäubung zu betrachten.

## **5.6. Zur Klärung des Zusammenhanges zwischen den Parametern und Reflexen im Betrieb 1**

1. Durch die verlängerte Anflutungszeit (90%; 120sek.) des Betäubungsgases in den Organismus konnte eine deutlich höhere  $\text{CO}_2$ -Konzentration erreicht werden, was insbesondere durch den bei reflexlos betäubten Tieren hohen  $\text{PCO}_2$ -Medianwert belegt ist. Dies hatte zur Folge, dass in Betrieb 1 unmittelbar nach dem Auswurf eine, durch das  $\text{CO}_2$  bedingte, stärkere Absenkung des pH-Wertes in Blut und Liquor vorlag. Zum anderen kam es durch den hohen  $\text{CO}_2$ -Gehalt zu der von FORSLID und AUGUSTINSSON (1988) beschriebenen Hypoxämie. Durch die lange Einwirkung des  $\text{CO}_2$  in hoher Konzentration in Betrieb 1 stellten sich bei einem Teil der Tiere Schädigungen im Organismus ein, was sich schließlich in Form reflexlos betäubter Tiere manifestierte. Diese entsprechen nach VANNUCCI et al. (2001) einem abgestuften Prozess einer zuerst reversiblen, später irreversiblen hypoxämischen Schädigung, wobei das ZNS besonders anfällig ist. So stellten HARTUNG et al. (2002) den Tod bei länger mit  $\text{CO}_2$  betäubten Tieren fest.

2. Aufgrund des in Betrieb 1 größeren Intervalls zwischen Betäuben und Stechen erfolgte die Blutentnahme zeitlich später.

Auch dieses legt für Betrieb 1 den Schluss nahe, dass unmittelbar nach dem Auswurf eine stärkere pH-Absenkung im Blut und Liquor vorherrschen musste: Durch die Stoffeigenschaft des  $\text{CO}_2$ , durch alle biologischen Membranen schnell zu diffundieren und damit eliminiert zu werden (DEETJEN 1992; REMIEN 2001) begann in der Phase bis zur Probennahme im Organismus die physiologische Abatmung des  $\text{CO}_2$ . Ziel war eine Regulierung des Säuren-Basen-Haushaltes und Elimination des  $\text{CO}_2$  (HARTMANN 1994) mit dem Anstieg des pH-Werts. Die unmittelbar nach dem Auswurf aus der Betäubungsanlage vorhandenen, stark sauren pH-Werte übten jedoch einen derart toxischen Effekt aus, dass irreversible Schädigungen eingetreten sind und die zu überprüfenden Reflexe in dieser Gruppe negativ ausfielen.

## **5.7. Zur Klärung des Zusammenhanges zwischen erhobenen Parametern und Reflexen in Betrieb 2**

Auffallend war, dass sich bei den Parametern pH-Wert und  $\text{PCO}_2$  die Medianwerte in den Befundgruppen „mit“- und „ohne Reflextätigkeit“ den Werten annähern, die in Betrieb 1 bei

Tieren mit vorhandener Reflexantwort fanden. Diese Beobachtung trifft nicht für den  $PO_2$ -Wert und den SID3-Wert zu; hier liegen die Werte in einer Größenordnung, die in Betrieb 1 bei Tieren mit erloschenen Reflexen zu finden waren.

Zwischen Tieren mit und ohne Reflexantwort war weder in Bezug auf den pH, den  $PCO_2$  und den  $PO_2$ , noch auf den SID-Wert ein signifikanter Unterschied festzustellen. Zwar übte das  $CO_2$  durch eintretende Hypoxämie und primär narkotischen Effekt einen Betäubungszustand aus; aufgrund der vergleichsweise höheren pH-Werte bzw. niedrigeren  $PCO_2$ -Werte war jedoch auch bei Tieren ohne Reflexantwort von den für Betrieb 1 erwähnten irreversiblen Schäden des Organismus nicht auszugehen. Daraus folgt, dass die Beobachtungen aus Betrieb 1 nicht übertragbar waren auf die Gegebenheiten in Betrieb 2.

Die Ursache für das von den Parametern entkoppelte Auftreten von Reflexen in diesem Betrieb kann nicht schlüssig erklärt werden. Möglicherweise spielen individuelle Unterschiede zwischen den Tieren eine Rolle, die von DODMAN (1977) erwähnt sind: er beschreibt eine große Variabilität hinsichtlich der individuellen Reaktion von Schweinen auf  $CO_2$ , die nach GRANDIN (1988) rassespezifisch ausgeprägt ist.

## **5.8. Wirkung des $CO_2$ auf das Bewußtsein**

$CO_2$  übt seinen narkotischen Effekt über eine pH-Wert-Absenkung aus (LOMHOLT 1985). Es beeinflusst die Permeabilität der Nervenzellmembranen; ein niedriger pH wirkt hyperpolarisierend, was eine Erhöhung der Reizschwelle zur Folge hat. Die Hyperpolarisation kommt dadurch zustande, dass in den Zellen des Cortex, in denen das Enzym Carboanhydrase vorhanden ist, durch die Zufuhr von  $CO_2$  vermehrt  $HCO_3^-$  gebildet wird. Dieses bewirkt nach CANTIENI (1977) die Hyperpolarisation, aus der sich die funktionelle Leistungsminderung der Nervenzelle ergibt. HERTRAMPF (1979) und KRNJEVIC (1964) vermuten als primäre Ursache für die narkotische Wirkung des  $CO_2$  eine Abnahme der Weiterleitungsgeschwindigkeit an markhaltigen Nerven.

## **5.9. Die Schlacht-/Betäubungstechnik**

Betrieb 1 betäubt seine Tiere für 120 Sekunden bei 90%  $CO_2$ . Damit liegt die Betäubungszeit 30 Sekunden über der von Betrieb 2. In Betrieb 1 werden jeweils 3-8 Tiere als Gruppe in die Betäubungsanlage getrieben, in Betrieb 2 sind Gondeln für jeweils zwei Tiere vorhanden.

## 5.10. Praktische Aspekte für die Durchsetzung des Tierschutzes in der Betäubung

In der Untersuchung zeigte eine hohe Anzahl von Tieren positive Reflexe. So wurden in Betrieb 1 bei Tieren der Gruppen „Lunge mit Befund“ und „Lunge ohne Befund“ 244 von 2165 Tieren, in Betrieb 2 1161 von 1615 Tieren positiv eingestuft.

Diese hohe Anzahl zeigte, dass in den untersuchten Betrieben CO<sub>2</sub> als fragliches Mittel einer tierschutzgerechten Schlachtierbetäubung einzustufen ist, da es zumindest nicht vollständige Reflexlosigkeit bewirkt.

Neben dem Betäubungseffekt wurde von zahlreichen Autoren auch das Wohlbefinden während der Betäubung in Frage gestellt. So geht HERTRAMPF (1979) von extremer Lebensangst aufgrund des in der Betäubung bestehenden Sauerstoffmangels aus, CANTIENI (1977) beschreibt bewusste Fluchtversuche der Tiere vor dem CO<sub>2</sub>, JONGMAN et al. (2000) fanden bei den untersuchten Tieren deutlich aversives Verhalten bei der Exposition mit CO<sub>2</sub>.

Daher wurden in der Vergangenheit Versuche durchgeführt, CO<sub>2</sub> in Gemischen mit dem Edelgas Argon zur Betäubung einzusetzen. RAJ (1999) fand geringere respiratorische Beschwerden bei Tieren, die mit verschiedenen CO<sub>2</sub>/Argon-Gemischen betäubt wurden. Auch MACHOLD et al. (2003) sahen an entsprechend konditionierten Schweinen bei erneutem Verbringen zum Ort der CO<sub>2</sub>-Betäubung deutliche Anzeichen von Panik, was bei Gasgemischen mit Argon nicht der Fall war.

In Betrieb 1 zeigte der pH-Wert eine Korrelation zur reflexlosen Betäubung. Angesichts der einfachen Bestimmbarkeit könnte sich hier eine Dauermessung mit einer stationären pH-Elektrode lohnen. Diese Beobachtung war in Betrieb 2 nicht reproduzierbar. In der Tat bleibt das Phänomen der unterschiedlichen Daten: Denkbar ist, dass die kurze Betäubungsphase in Betrieb 2, die zwar zu niedrigen pH und PCO<sub>2</sub>-Werten führte, als Ursache für die hohe Zahl der Reflexe anzusehen ist. Hier muß gegebenenfalls in Betrieb 2 nachgerüstet werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Einhaltung der Tierschutzschlachtverordnung:

Havarien, bei denen es zu Bandstopps kommt, können in Betrieb 1 schnell zur Regenerierung der Wahrnehmung führen, die sich in Augenblinzeln und teilweise gerichteten Bewegungen der Schweine äußerte, bevor sie entblutet wurden. Es folgten klagende Lautäußerungen beim Stechen und Exzitationen auf der Entblutestrecke bis zum Eintritt in den Brühentborster. Aufgrund dessen ist die vorgegebene Zeit, die zwischen dem Auswurf aus der Betäubungsanlage und dem Entbluten liegen darf, einzuhalten.