

Zeitschrift: Schweizer Archiv für Tierheilkunde SAT : die Fachzeitschrift für Tierärztinnen und Tierärzte = Archives Suisses de Médecine Vétérinaire ASMV : la revue professionnelle des vétérinaires

Herausgeber: Gesellschaft Schweizer Tierärztinnen und Tierärzte

Band: 119 (1977)

Heft: 9

Artikel: Ein Beitrag zur CO₂-Betäubung von Schlachtschweinen

Autor: Cantieni, J.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-593255>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Aus der Veterinär-chirurgischen Klinik der Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. A. Müller)

Ein Beitrag zur CO₂-Betäubung von Schlachtschweinen¹

von J. Cantieni²

1. Einleitung

Bei der Schlachtung sind wir verpflichtet, den Tieren nach Möglichkeit Angst und Schmerz zu ersparen. Im Zusatzartikel zu Artikel 25 der Schweizerischen Bundesverfassung steht: «Das Schlachten der Tiere ohne vorherige Betäubung vor dem Blutentzug ist bei jeder Schlachtart und Viehgattung ausnahmslos untersagt.»

Müller und Engeli [20] stellten folgende Anforderungen an die Betäubung:

1. Das Tier soll auf schonende Weise in einen Zustand übergeführt werden, in welchem es den Entblutungsstich nicht wahrnimmt.
2. Es dürfen fleischhygienisch keine nachteiligen Folgen auftreten.
3. Die Methode soll routinemässig und ohne Gefahr für das Personal ausgeführt werden können.

Bei Schlachttieren werden heute angewendet:

1. Die mechanische Betäubung mit dem Bolzenschussapparat,
2. Das elektrische Betäubungsverfahren,
3. Die chemische Betäubung mit CO₂.

Bereits im Jahre 1827 erkannte Hickmann [21] die narkotische Eigenschaft des CO₂. Die erste CO₂-Betäubungsanlage wurde jedoch erst 1950 in Austin (USA) in Betrieb genommen.

Gegensätzliche Aussagen einiger Autoren [5, 16, 22, 31, 35] sowie eine Diskussion anlässlich des 21st European Meeting of Meat Research Workers vom September 1975 in Bern über die Betäubung von Schlachtschweinen zeigten unter anderem, dass man sich über Vor- und Nachteile der CO₂-Betäubung gegenüber der elektrischen Betäubung nicht einig ist.

Die Bolzenschussmethode eignet sich für das Schwein deshalb viel weniger als für das Rind, weil Schweine sich schlecht fixieren lassen, von Rasse zu Rasse verschiedene Neigung des Frontalschädels aufweisen, ausserdem relativ grosse Stirnhöhlen und ein kleines Gehirn haben.

¹ Arbeit unter Leitung von Dr. R. Heckmann; 1976 von der veterinärmedizinischen Fakultät Zürich als Dissertation genehmigt.

² Adresse: Dr. J. Cantieni, Winterthurerstrasse 260, CH-8057 Zürich.

Die CO₂-Betäubung wurde bisher vor allem auf ihre fleischhygienische und schlachttechnologische Eignung hin untersucht. Die wichtige Frage nach der Wirkung des CO₂ auf das Empfinden der Tiere wurde viel zu wenig beachtet. Die vorliegende Arbeit versucht, auf diese Frage eine Antwort zu finden.

2. Literatur

2.1. Geschichtlicher Überblick

Seit Hickmann [21] den narkotischen Effekt von CO₂ entdeckt hat, ist verschiedentlich versucht worden, den Wirkungsmechanismus dieses Gases zu ergründen und seine Anwendbarkeit auf Mensch und Tier zu testen. Von der grossen Zahl solcher Arbeiten sollen vor allem jene erwähnt werden, die sich mit Tieren befassen:

- Bert [4] erkannte 1878, dass Versuchstiere, die ein Luft-CO₂-Gemisch mit einer CO₂-Konzentration von 30 Vol.-% einatmen, nicht sterben.
- Friedländer und Herter [8] berichteten 1878/79, dass Kaninchen während einer Stunde Luft mit 20 Vol.-% CO₂ einatmen können, ohne irgendwelche Symptome zu zeigen, ausser einer gesteigerten respiratorischen und cardialen Aktivität. Sie setzten ein Kaninchen auch einem Gemisch von 80 Vol.-% CO₂ und 20 Vol.-% O₂ während 15 Minuten aus. Das Tier fiel in Narkose, kam aber nach der Exposition schnell wieder zu sich.
- In den nachfolgenden Jahren erschienen einige Publikationen [1, 3, 24] über Tierversuche mit CO₂, die teilweise widersprüchliche Angaben über dessen Wirkung machen.
- 1904 untersuchte Bendersky [2] die CO₂-Wirkung auf verschiedene Tierarten. Nach seinen Resultaten benötigt man beim Hund eine bedeutend höhere CO₂-Konzentration als beim Kaninchen und Meerschweinchen, um eine Narkose zu erzielen. Schafe konnten selbst mit hohen CO₂-Konzentrationen nicht in eine tiefe Narkose versetzt werden. Versuche mit CO₂ am Geflügel führten in einigen Fällen zum Tod der Tiere.
- 1928 zeigte Prausnitz [25], dass Hunde, Katzen, Kaninchen, Meerschweinchen, Ratten und Mäuse beim Einatmen eines Luft-CO₂-Gemisches mit einer 50%igen CO₂-Konzentration nach einem kurzen Exzitationsstadium in eine tiefe Narkose fallen. Die Versuchstiere konnten diese CO₂-Konzentration während 1½ Stunden ertragen. Bei mehrmaligen täglichen Wiederholungen und bei höheren Konzentrationen traten Todesfälle auf.
- Blomquist, 1957 [5] untersuchte die CO₂-Wirkung auf das Schwein. Er verwendete bei seinen Versuchen ein Gemisch von 70 Vol.-% CO₂ und 30 Vol.-% Luft. Der Autor gibt an, die Schweine würden sich während den ersten 15 Sekunden nach Beginn der CO₂-Einatmung unauffällig verhalten: sie liefen herum, schnüffelten und zeigten keinerlei Symptome von Pharynx-, Larynx- und Bronchialkrämpfen. Danach traten Exzitationen und Krämpfe auf, und die Tiere fielen um. Nach 5 weiteren Sekunden schienen sie die Schmerzempfindlichkeit verloren zu haben. 15 Sekunden nach Beginn des Krampfanfalles verschwand der Cornealreflex. Diese Ergebnisse bewogen die genossenschaftliche Schweineschlächterei in Kolding, Dänemark, im Jahre 1954 die CO₂-Betäubung einzuführen.
- Aus den eingehenden Untersuchungen von Mullenax im Jahre 1963 [19] geht hervor, dass Schweine, die mit einem Gemisch von 68 Vol.-% CO₂ und 32 Vol.-% O₂ betäubt werden, vor dem Bewusstseinsverlust weniger Krämpfe zeigen als andere, die einem Gemisch von 68 Vol.-% CO₂ und 32 Vol.-% Luft ausgesetzt werden.

Um die Wirkung von hohen CO₂-Konzentrationen auf den Menschen abzuklären, unterzog sich ein Holländer freiwillig einem derartigen Experiment¹ [5]. Er empfand dabei keinerlei Unbehagen und erholte sich ohne Schmerzerinnerung. Zillgit¹ [5] hat bei einem unfreiwilligen Versuch etwas Ähnliches erlebt: während er mit Trockeneis arbeitete, atmete er unbewusst CO₂ ein. Dabei wurde er für kurze Zeit bewusstlos. Er erholte sich rasch, fühlte sich jedoch leicht müde und konnte sich nicht an irgendeinen unangenehmen Geruch oder Geschmack oder an eine andere Wirkung des Gases erinnern.

- Parade [23] berichtet über ein Grubenunglück, das 150 Tote infolge CO₂-Einatmung gefordert haben soll. Bei den Überlebenden liessen sich folgende Symptome feststellen:
 - Erregungszustände
 - Zungenbisse
 - Unfreiwilliger Kot- und Harnabsatz
 - Erbrechen
 - Schaum vor Mund und Nase
 - Kopfweh, Schlappeheit und Durstgefühl
 - Druckgefühl auf der Brust
 - Temperaturanstieg während 1-2 Tagen
 - Glucosurie

2.2. CO₂-Wirkung auf das Nervensystem

Bestimmte Agenzien beeinflussen die Permeabilität der Nervenzellmembran. Ein solches Agens ist das CO₂. Es diffundiert mit Leichtigkeit durch alle biologischen Membranen. Eine erhöhte CO₂-Spannung in der Atemluft hat eine Senkung des pH-Wertes der Cerebrospinalflüssigkeit (CSF) zur Folge. Am isolierten Nerven *in vitro* wirkt die pH-Senkung hyperpolarisierend, was eine Erhöhung der Reizschwelle zur Folge hat [11].

Eisele [7] untersuchte den arteriellen CO₂-Partialdruck (pCO₂-art.) bei Eintritt der Narkose. Er stellte fest, dass bei einem anfänglich physiologischen arteriellen Blut-pH (pH-art.) und gleichzeitiger Erniedrigung des pH-Wertes der CSF, der narkotische Zustand bereits bei einem pCO₂-art. von 139 mmHg eintritt. Wird hingegen der pH-Wert der CSF nicht verändert, so tritt vollständige Narkose erst bei einem pCO₂-art. von 245 mmHg ein. Bei Konstanthaltung des pH-art. (zwischen 7.1 und 7.3) mittels NaHCO₃ während der CO₂-Inhalation, tritt die Narkose ebenfalls bei einem pCO₂-art. von 244 mmHg ein. Dies zeigt, dass der pH-Wert der CSF für die narkotische Wirkung des CO₂ von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Woodbury und Karler [36] exponierten Ratten einem Gasgemisch von 50 Vol.-% Luft und 50 Vol.-% CO₂. Sie konnten bei diesen Tieren nach der Exposition eine erniedrigte intrazelluläre Na⁺- und K⁺-Konzentration im Gehirn messen. Nachdem sie den Versuchstieren das CO₂ plötzlich entzogen hatten, stellten sie einen raschen Anstieg des intrazellulären Na⁺ fest, während die intrazelluläre K⁺-Konzentration erniedrigt blieb. Gleichzeitig traten Krämpfe auf. Die Ursache für diese Permeabilitätsänderung der Zellmembran für Na⁺ ist unbekannt. Sie könnte nach Meinung der Autoren mit folgender Hypothese erklärt werden: die plötzliche Entfernung der Versuchstiere aus dem CO₂ hat einen Anstieg des intrazellulären pH zur Folge. Diese plötzliche pH-Erhöhung vermindert die Konzentration des intrazellulären frei ionisierten Ca⁺⁺. Es ist bekannt, dass die Verminderung des intrazellulären freien Ca⁺⁺ die Permeabilität der Zellmembran für Na⁺ erhöht [36].

¹ Eine genaue Konzentrationsangabe des CO₂ fehlt.

Woodbury und Karler [36] bestimmten die Schwellenwerte für elektrische und chemische Reize, mit denen sie bei Ratten und Mäusen Krämpfe hervorrufen konnten. Dabei untersuchten sie den Einfluss der CO_2 -Konzentration auf die Erregbarkeit des Gehirns. Nach ihren Resultaten, mit denen auch elektroencephalographische Untersuchungsbefunde übereinstimmen, beeinflusst das CO_2 die Gehirnerregbarkeit folgendermassen:

- CO_2 -Konzentrationen in der Inspirationsluft von 12–15 Vol.-% bewirken eine zunehmende Verminderung der corticalen Erregbarkeit. Dies hat eine Erhöhung der Reizschwelle für Elektroschock-Krämpfe zur Folge.
- CO_2 -Konzentrationen in der Inspirationsluft von 25–35 Vol.-% verursachen eine corticale Übererregbarkeit. Die Autoren glauben, dies auf die Aktivierung subcorticaler Zentren mit Verbindung zum Cortex zurückführen zu dürfen. Diese Aktivierung scheint stärker als die corticale Dämpfung zu sein und kann bereits zu Krämpfen führen.
- Die Inspiration eines Luft- CO_2 -Gemisches mit CO_2 -Konzentrationen über 35 Vol.-% bewirkt ausgeprägte corticale und subcorticale Dämpfung.

Zu ähnlichen Ergebnissen führten auch die Versuche von Gellhorn und French [10]. Sie trennten bei Katzen den Cortex von den subcorticalen Hirnstrukturen und unterzogen die Tiere hernach einer lokalen Strychnin-Behandlung. Die Einatmung eines Luft- CO_2 -Gemisches mit einer CO_2 -Konzentration von 10–35 Vol.-% hatte bei den auf diese Weise operierten Katzen im Gegensatz zu unoperierten Kontrolltieren eine depressorische Wirkung auf den Cortex zur Folge. Die Autoren schlossen aus diesen Versuchen, dass die plötzliche motorische Unruhe, die bei Einatmung von CO_2 in einer Konzentration von ca. 30 Vol.-% auftritt, durch Erregung subcorticaler Strukturen bedingt ist.

Arbeiten von Laborit H. et al. [15] und Laborit G. et al. [14] über die Wirkungsweise von CO_2 im zentralen Nervensystem haben zu folgender Hypothese Anlass gegeben:

In den Zellen des Cortex, in denen das Enzym Carboanhydrase enthalten ist, wird durch Zufuhr von CO_2 Bikarbonat in höherer Masse gebildet als in den Zellen der Formatio reticularis, denen das Ferment fehlt. Der Quotient intrazelluläres HCO_3^- /extrazelluläres HCO_3^- wird deshalb im Cortex grösser, was zu Hyperpolarisation führt. Dies hat eine funktionelle Leistungsminderung der Nervenzelle zur Folge. Fehlt hingegen Carboanhydrase, so führt dies zu Depolarisation, was sich als Exzitation äussert.

Ein weiterer CO_2 -Effekt auf das zentrale Nervensystem ist das Auftreten von retrograder Amnesie [27] (Gedächtnislücke, die über die Zeit des abnormen Zustandes zurückreicht). Die Entstehung der retrograden Amnesie ist bisher ungeklärt. Im Gegensatz zu Thompson [33] glauben Taber und Banuazizi [32] einen O_2 -Mangel als alleinige Amnesie Ursache ausschliessen zu können. Wasterlain [34] konnte mit seinen Versuchen an Ratten zeigen, dass CO_2 die RNA-Synthese der Nervenzelle hemmt. Diese Teilhemmung vermag allerdings den amnestischen Effekt nicht befriedigend zu erklären.

Die bisher publizierten Arbeiten zeigen, dass die Wirkungsweise des CO_2 auf das zentrale Nervensystem noch weitgehend unverstanden ist.

2.3. CO_2 -Wirkung auf das Kreislaufsystem

Das Kreislaufsystem wird sowohl zentral als auch peripher durch CO_2 beeinflusst.

2.3.1. CO_2 -Wirkung auf Herzkraft und Herzschlagfrequenz

Versuche am isolierten Herzen ergaben bei sinkendem Blut-pH eine Abnahme der

Kontraktionskraft des Herzmuskels [14, 21, 26]. Versuche an Hunden haben gezeigt, dass die Kontraktionskraft des Ventrikels bei respiratorischer Acidose abnimmt [6].

Auch die Herzschlagfrequenz wird durch CO₂ beeinflusst. An Rhesusaffen [29, 30] stellte man bei niederen CO₂-Konzentrationen (10–20 Vol.-% CO₂) einen Frequenzanstieg fest, höhere CO₂-Konzentrationen (bis 60 Vol.-%) hatten einen Abfall der Herzschlagfrequenz von bis zu 50% des Ausgangswertes zur Folge.

Mullenax [19] berichtet, dass die Herzschlagfrequenz von Schweinen, welche mit einem Gemisch von 68 Vol.-% CO₂ und 32 Vol.-% O₂ betäubt wurden, 2 Minuten nach Beginn der Betäubung auf die Hälfte des Ausgangswertes absank. In den 3 folgenden Minuten stieg die Herzschlagfrequenz wieder über den Ausgangswert hinaus an.

2.3.2. CO₂-Wirkung auf den peripheren Widerstand; Einfluss auf den Blutdruck

Das CO₂ wirkt über zwei Mechanismen auf den peripheren Widerstand. Den einen Angriffspunkt bilden das Vasomotoren-Zentrum und die Chemoreceptoren in der Aorta und im Carotissinus, den andern die Gefäßwände selbst. Die Chemoreceptoren werden durch CO₂ erregt und stimulieren das Vasomotoren-Zentrum, was zu Vasokonstriktion führt. Der periphere Angriffspunkt auf die Gefäßwände bewirkt eine Vasodilatation [9]. Die Folge dieser beiden Effekte auf die einzelnen Organe ist unterschiedlich:

Gehirn: Die Gehirnarteriolen sind nur mässig vom Vasomotoren-Zentrum abhängig. Die Gefässe werden somit unter CO₂-Einfluss dilatiert [9, 21].

Herz: Hier liegen vermutlich ähnliche Verhältnisse vor wie bei den Gehirngefässen [21].

Skelettmuskulatur: Die Durchblutung ist bei hohen CO₂-Konzentrationen herabgesetzt [17], während niedrige CO₂-Spannungen (Arbeit) eine Durchblutungssteigerung bewirken [9].

Haut: Hier soll CO₂ Vasodilatation bewirken [9].

Die Einatmung von CO₂ in hohen Konzentrationen (20–68 Vol.-%) führt zu einem Anstieg des arteriellen Blutdrucks [7, 14, 19].

Dies zeigen die folgenden Abbildungen:

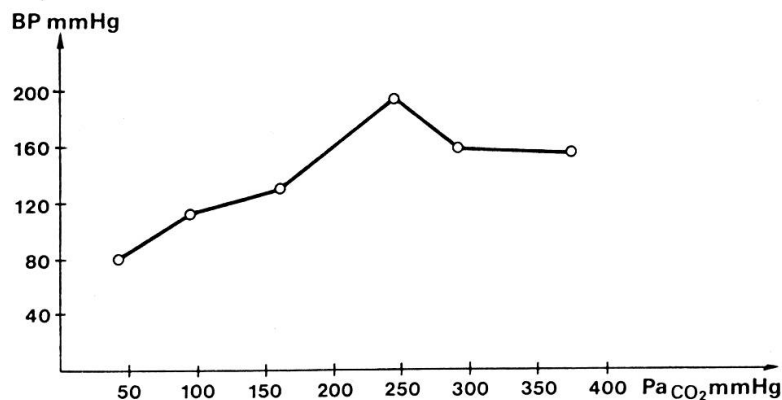


Abb.1 nach Eisele (7)

Mittlere Blutdruckwerte von 6 Hunden, die einem Gemisch von CO₂ und O₂ ausgesetzt waren. Die Ringe geben den mittleren systolischen Blutdruck bei einem paCO₂ von 90, 160, 240, 290 und 380 mmHg an.

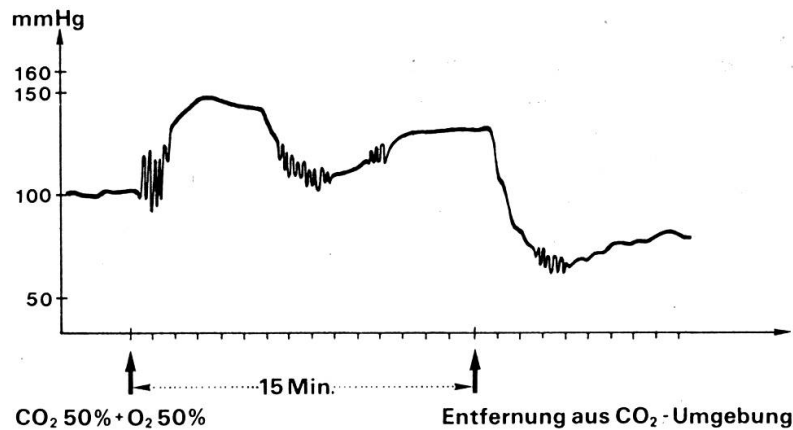


Abb. 2 nach Laborit (14)

Verlauf des arteriellen Blutdruckwertes eines Hundes, der 15 Min. einem Gemisch von 50% CO₂ und 50% O₂ ausgesetzt war. Auffallend ist der erste Blutdruckabfall infolge Herzarrhythmien, sowie der starke Abfall nach dem Entfernen des Hundes aus der CO₂-Umgebung.

2.4. CO₂-Wirkung auf die Atmung

Die spontane Atmung hängt von rhythmischen Impulsen des Atemzentrums in der Formatio reticularis ab. Die Chemoreceptoren – Carotis- und Aortenkörperchen sowie zentrale Chemoreceptoren, die nahe dem Atemzentrum liegen – reagieren auf chemische Veränderungen der Blut- und Hirnflüssigkeit. Auf nervösem Weg beeinflussen sie stimulierend oder hemmend die Aktivität des Atemzentrums [9]. Schon eine geringgradige Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Einatemungsluft hat eine Steigerung der Atemfrequenz und der Atmungstiefe zur Folge [28].

Grahm et al. [11] sowie Eisele [7] liessen Hunde CO₂ in steigender Konzentration einatmen. Es zeigte sich, dass das Atemzeitvolumen (AZV) bei einer CO₂-Konzentration von 20–25 Vol.-% bzw. bei einem pCO₂-art. von 150–200 mmHg am grössten war. Bei einer weiteren CO₂-Konzentrationserhöhung nahm das AZV wieder ab. Versuche an Affen [29, 30] und Schweinen [19] ergaben ähnliche Resultate; allerdings konnten Speziesunterschiede festgestellt werden.

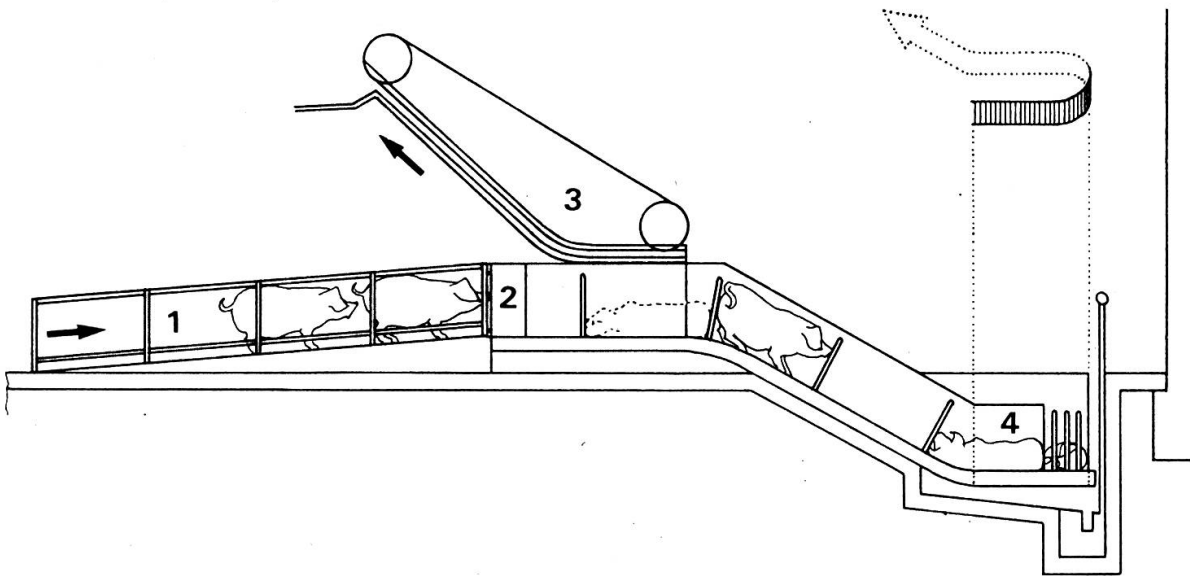
3. Die heute angewandte CO₂-Betäubung für Schlachtschweine

Heute wird in allen grösseren Schlachthöfen im Fliessbandverfahren geschlachtet. Dabei sollte der Betäubungsvorgang in den Schlachtprozess integriert werden können, ohne dass dadurch die Schlachtkapazität eingeschränkt wird. Die CO₂-Betäubungsmethode wird diesen Anforderungen gerecht und hat deshalb weltweite Anwendung gefunden.

Da Kohlendioxyd schwerer als Luft ist, wird es in den Schlachthöfen in eine Vertiefung, in die sog. «Betäubungskammer» geleitet. Dadurch wird die Umgebung, obwohl die Betäubungskammer nicht luftdicht abgeschlossen ist, nur in geringem Masse mit CO₂ angereichert, so dass keine Gefahr für das Schlachthofpersonal besteht. In der Schlachthofpraxis wird das CO₂ in einer Konzentration von 68–78 Vol.-% verwendet. Die Aufenthaltsdauer der Tiere in der Betäubungsgrube schwankt zwischen 44 und 110 Sekunden.

Um den Forderungen an Schlachtkapazität und Grösse der Schweine gerecht zu werden, wurden verschiedene Typen von CO₂-Anlagen entwickelt:

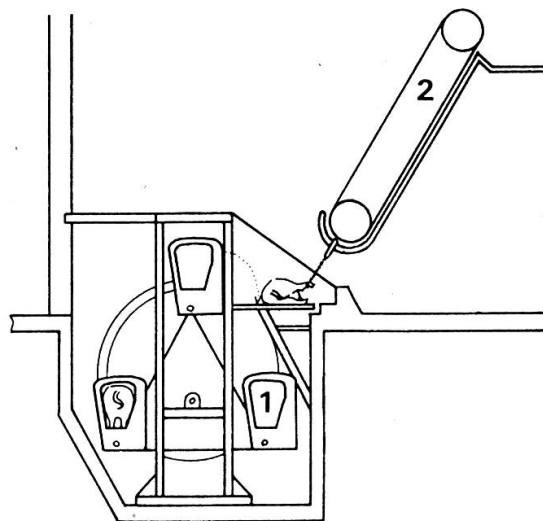
1. Förderband (Abb. 3)
2. Pariser Rad (Abb. 4)
3. Lift (Abb. 5)



- 1 = Zugang
- 2 = Eingangsklappe
- 3 = Stechaufzug
- 4 = CO₂-Kammer

Abb. 3 nach Wernberg (34)

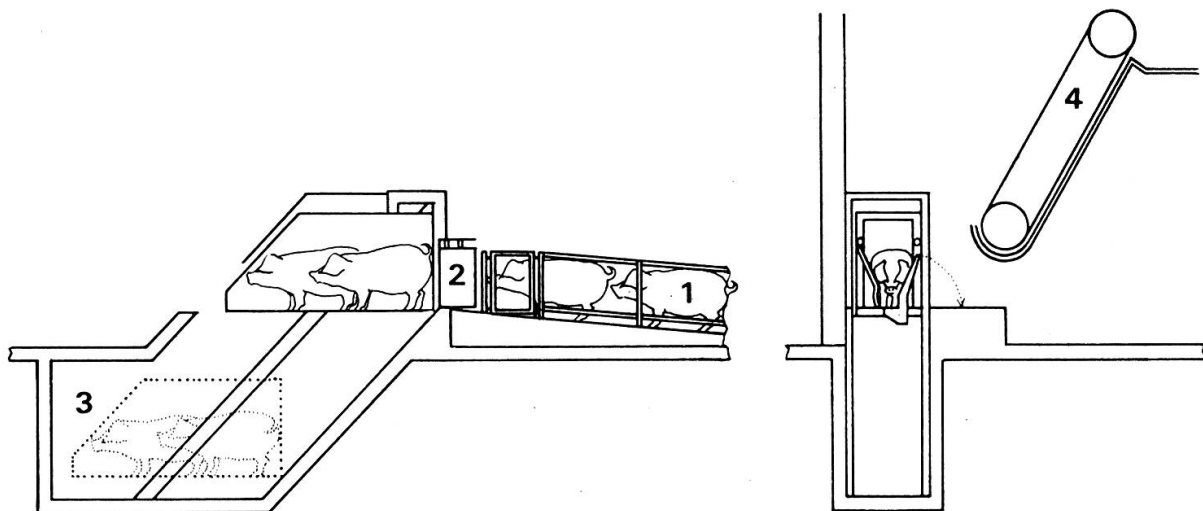
Die Schweine werden mittels eines Förderbandes durch einen versenkten Tunnel in die CO₂- Grube transportiert. Dieser Typ erlaubt die grössten Schlachtkapazitäten, nimmt aber viel Platz in Anspruch.



- 1 = Gondel
- 2 = Stechaufzug

Abb. 4 nach Wernberg (34)

Die Anlage besteht aus einem Rad mit drei Schweinefallen (Gondeln), die nacheinander in die CO₂- Grube versenkt werden. Diese Anlage ist für kleinere Schlachthöfe konstruiert worden. Ein Nachteil der Pariser Radmethode ist der relativ hohe CO₂-Verlust.



- 1 - Zugang
- 2 - Eingangsklappe
- 3 - CO₂-Kammer
- 4 - Stechaufzug

Abb. 5 nach Wernberg (34)

Eine Schweinefalle führt auf zwei schräg gestellten Schienen in die Betäubungsgrube. Dieser Typ eignet sich für noch kleinere Schlachtkapazitäten als die Pariserrad-Anlage.

4. Eigene Untersuchungen

4.1. Problemstellung

CO₂ wird seit 20 Jahren zur Betäubung von Schlachttieren weltweit angewendet. Bei der Einführung scheinen vorwiegend schlacht- und fleischtechnologische Überlegungen entscheidend gewesen zu sein. Nach den spärlichen Hinweisen in der Literatur gilt die Methode als human; entsprechende Untersuchungen sind allerdings unseres Wissens nie gemacht worden. In den Schlachthöfen mit der Pariserrad-Betäubungsanlage kann jedoch beobachtet werden, dass die Schweine beim Eintauchen in den CO₂-See heftige Unruhe zeigen.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Frage, ob die CO₂-Methode die Anforderungen an eine gute Betäubung erfüllt, den Tieren also zugemutet werden kann.

Um diese Frage zu beantworten, stellen wir uns folgende Aufgaben:

1. Es sollen aufgrund der Reaktionen der Schweine im Kontakt mit CO₂ (Luft/CO₂-Gemisch bei 70 Vol.-% CO₂) Schlüsse auf die Betäubungsqualität gezogen werden.
2. Es soll eine Versuchsanordnung ausgearbeitet werden, durch die die Tiere selbst die CO₂-Betäubung bewerten; d.h. die Schweine sollen durch ihr Verhalten ausdrücken, ob sie das Verfahren als unangenehm empfinden.

4.2. Material und Methode

Die Methode wurde aufgrund von Versuchen mit Meerschweinchen [18] entwickelt, was zu folgender Versuchsanordnung führte:

30 Versuchsschweine (veredeltes Landschwein) wurden in 3 Gruppen zu je 10 Tieren eingeteilt. Die Tiere einer Gruppe stammten vom gleichen Wurf und wurden unter gleichen Bedingungen gehalten (Fütterung: pelletiertes Trockenfutter und Wasser). Jede Gruppe setzte sich aus 2 Kontrolltieren und 8 Tieren, die dem CO₂ ausgesetzt wurden, zusammen. Die Schweine wurden in Einzelboxen gehalten. Ein schmackhaftes Futter, ein sogenannter Bestärker, lockte die Schweine aus ihren Boxen in die Versuchskammer, die so konstruiert war, dass sie später als CO₂-Kammer dienen konnte.

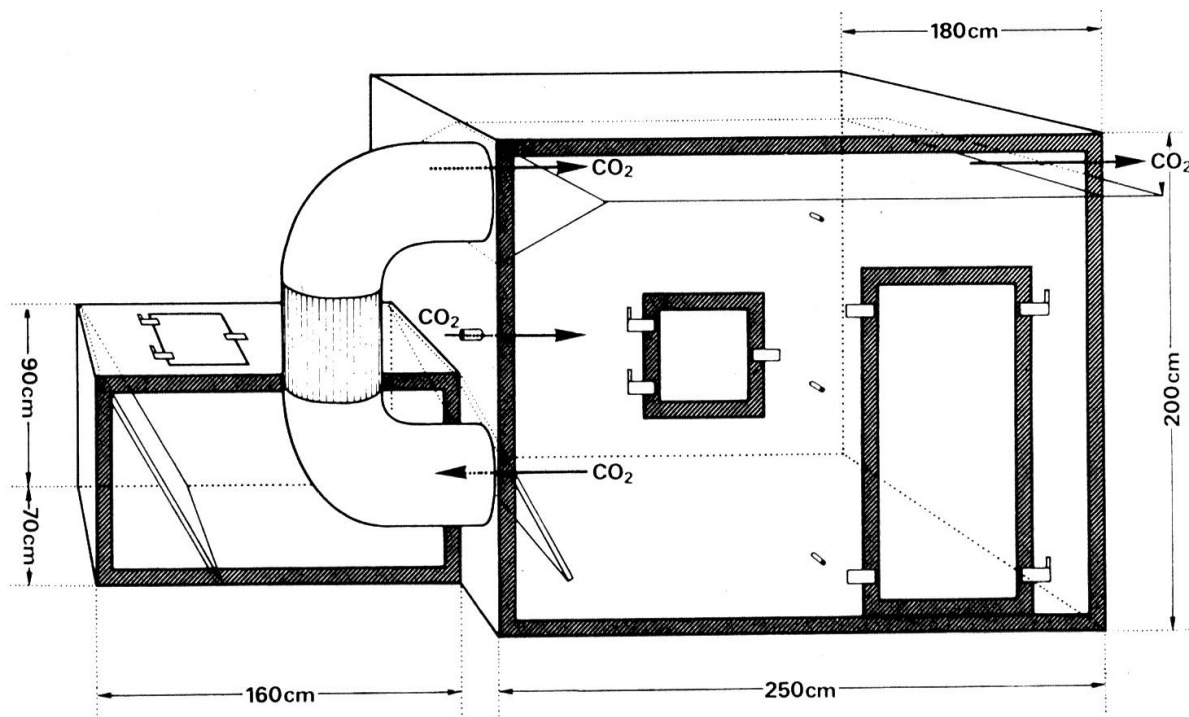
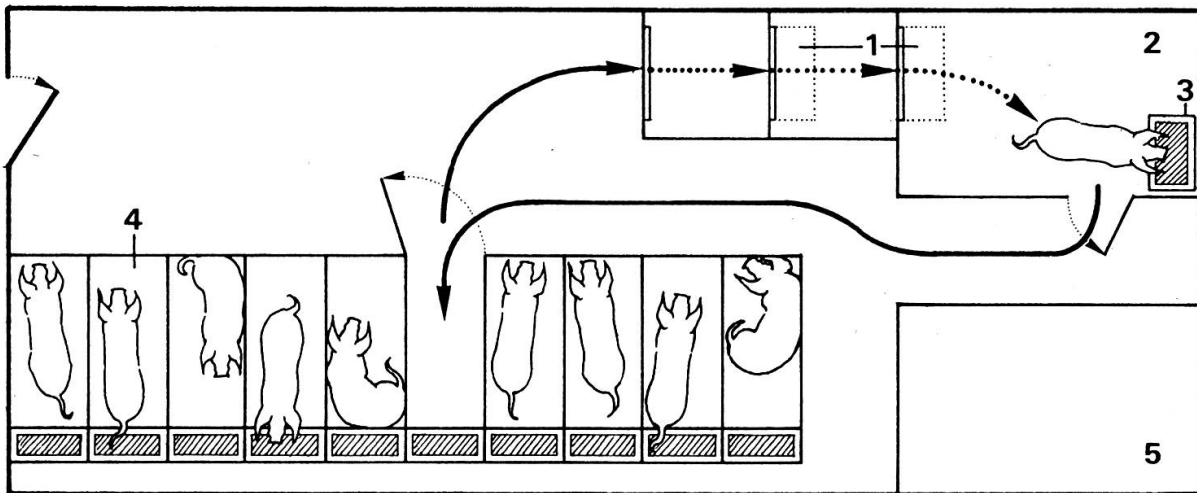


Abb.6 CO₂-Kammer

Um die Kammer betreten zu können, mussten die Schweine eine Schleuse passieren, wobei 2 Klappen zu öffnen waren. Hatten die Versuchstiere das Bestärkungsmittel, das sich in der Kammer befand, gefressen, konnten sie die Kammer wieder verlassen. Nachdem die Schweine das Öffnen der Kammer wochenlang geübt hatten und fähig waren, innerhalb von 15 Sekunden das Lockfutter zu erreichen, wurde mit den Versuchen begonnen.

Vor dem ersten Versuch wurde die Kammer mit CO₂ in einer Konzentra-



- 1 = Schleuse mit 2 Klappen
- 2 = CO₂-Kammer
- 3 = Bestärker
- 4 = Einzelboxen
- 5 = Messapparatur und Beobachtung

Abb. 7 Versuchsanlage mit Einzelboxen

tion von 71 ± 3 Vol.-%¹ gefüllt. Die Schweine betraten die Kammer und wurden darin betäubt. 25 Sekunden nach dem Betreten der Kammer wurde das CO₂ mit einem Ventilator² ausgepumpt. Gleichzeitig wurde Frischluft angesaugt. Durch Einatmen der Frischluft erholten sich die betäubten Schweine und konnten in ihre Boxen zurückkehren (1. Versuch).

Nach 24 Stunden (2. Versuch), 48 Stunden (3. Versuch) und nach 72 Stunden (4. Versuch) wurde das Experiment wiederholt. 96 Stunden nach Versuchsbeginn fand eine weitere Wiederholung statt, allerdings ohne die Kammer mit CO₂ zu füllen (5. Versuch). Aus technischen Gründen war es unmöglich, die Eingangsklappen zur CO₂-Kammer vollkommen abzudichten, so dass CO₂ in geringen Konzentrationen von der Kammer in die Schleuse gelangen konnte.

Da die Schweine einen gut ausgebildeten Geruchssinn besitzen, könnten bereits niedere CO₂-Konzentrationen von ihnen wahrgenommen werden. Durch das Weglassen des CO₂ im 5. Versuch konnte die mögliche Beeinträchtigung des Versuches durch das aus der Kammer entwichene CO₂ ausgeschlossen werden.

Verweigerten die Versuchsschweine das Betreten der Kammer, so wurde der Versuch nach 3 Minuten abgebrochen.

¹ Die Bestimmung der CO₂-Konzentration wurde mit dem Mono-CO₂-Indikator Mo 18 der Firma Maihak, Hamburg, durchgeführt. Zur Kontrolle wurden mit einem tragbaren Interferometer (10 cm Messkammer) der Fa. Zeiss, Jena, und mit einem Orsat-Gerät weitere Messungen vorgenommen.

² Firma Rüetsch: Elektromotoren Suhr, Typ KSM 400-4/8 n 1400/700.

Das Verhalten der Tiere ist in den Abbildungen 8–16 dargestellt.

In den Abbildungen 8, 11 und 14 ist die Anzahl Schweine, die im jeweiligen Versuch die Kammer betraten, eingetragen.

In den Abbildungen 9, 12 und 15 wird die gleiche Information in % ausgedrückt.

Den Abbildungen 10, 13 und 16 wurde ein Punktesystem zugrunde gelegt. Das Verhalten der Tiere wurde folgendermassen bewertet:

- | | |
|---|----------|
| 1. Heben der ersten Eingangsklappe der CO ₂ -Kammer | 5 Punkte |
| 2. Passieren der ersten Eingangsklappe der CO ₂ -Kammer | 5 Punkte |
| 3. Heben der zweiten Eingangsklappe der CO ₂ -Kammer | 5 Punkte |
| 4. Passieren der zweiten Eingangsklappe der CO ₂ -Kammer | 5 Punkte |
| 5. Betreten der Kammer | 5 Punkte |
| 6. Dauer des Zögerns: kein Zögern | 5 Punkte |
| 0,1–0,6 Minuten zögern | 4 Punkte |
| 0,6–1,2 Minuten zögern | 3 Punkte |
| 1,2–1,8 Minuten zögern | 2 Punkte |
| 1,8–2,4 Minuten zögern | 1 Punkt |
| 2,4–3,0 Minuten zögern | 0 Punkte |

Von den 8 Versuchsschweinen wurde jeweils die mittlere Punktzahl jedes Versuches errechnet und die Werte ins Diagramm eingetragen. Das gleiche gilt für die Kontrolltiere.

Die höchstmögliche Punktzahl von 30 Punkten wird erreicht, wenn ein Schwein ohne zu zögern die CO₂-Kammer betritt.

Aus diesem Punktesystem geht hervor, dass auch die Schweine, die die CO₂-Kammer nicht betraten, versucht haben, die Schleuse zu öffnen.

4.3. Ausführung der Versuche

1. Versuchsgruppe

Versuchstiere: 4 weibliche und 6 männliche (kastrierte) Schweine

Alter: 3½ Monate

Gewicht: durchschnittlich 36 kg

Anlernphase: 5 Wochen

Das Bestärkungsmittel bestand aus Wasser, das heisst, die Schweine konnten nur in der CO₂-Kammer Wasser aufnehmen. Verweigerten die Tiere das Betreten der Kammer, so mussten sie dursten. Das pelletierte Trockenfutter wurde den Schweinen in der Boxe gegeben.

Um ausgeprägte Exsikkose zu vermeiden, wurde den Schweinen nach dem 3. (nach 72 Std. Durstdauer) und 4. (96 Std. nach Versuchsbeginn) Versuch ad libitum zu trinken gegeben.

2. Versuchsgruppe

Versuchstiere: 5 weibliche und 5 männliche (kastrierte) Schweine

Alter: 4½ Monate

Gewicht: durchschnittlich 45 kg

Anlernphase: 4½ Wochen

Das Bestärkungsmittel bestand aus 1/3 der Trockenfutterration, die restlichen 2/3 bekamen die Tiere nach dem Versuch in ihren Boxen. Wasser stand den Tieren dieser Versuchsgruppe in der Boxe frei zur Verfügung.

Um abzuklären, ob die Versuchsschweine nach einer 2tägigen Übungspause das Öffnen der Eingangsklappen verlernen würden, wurde das Training 3 Tage vor Versuchsbeginn unterbrochen. Während des Unterbruchs erhielten die Schweine ihre volle Futterration in den Boxen. Ein Tag vor Versuchsbeginn wurde den Tieren wieder die Möglichkeit gegeben, die Kammer zu betreten.

3. Versuchsgruppe

Versuchstiere: 4 weibliche und 6 männliche (kastrierte) Schweine

Alter: 7½ Monate

Gewicht: durchschnittlich 90 kg

Anlernphase: 7 Wochen

Die Schweine dieser Versuchsgruppe erhielten mit Wasser verdünntes Apfelmus als Bestärkungsmittel. Das Trockenfutter und die restliche Wasserration bekamen sie nach dem Training bzw. nach dem Versuch in den Boxen.

Wie bereits im Abschnitt 4.2. erwähnt wurde, war es aus technischen Gründen nicht möglich, die Eingangsklappen der CO₂-Kammer dicht zu verschliessen. Um den eventuellen «CO₂-Geruch», den die Schweine möglicherweise wahrnehmen können, zu überdecken, wurde während der Anlernphase und der Versuchsphase ein Geruchstoff (Hairspray) in die Schleuse gesprüht.

4.4. Ergebnisse

4.4.1. Das Verhalten der Versuchstiere in der Kammer im Kontakt mit CO₂

1. Phase: Dauer vom Betreten der CO₂-Kammer bis zum Beginn der motorischen Unruhe (mittlere Dauer 11,7 Sekunden).
2. Phase: Dauer vom Beginn der motorischen Unruhe bis zum Umfallen der Tiere (mittlere Dauer 10,95 Sekunden).
3. Phase: Dauer vom Umfallen der Tiere bis zum ersten Versuch aufzustehen (mittlere Dauer 2 Min. 52 Sek.).
4. Phase: Dauer vom ersten Versuch aufzustehen bis zum Verlassen der CO₂-Kammer (mittlere Dauer 3 Minuten).

Während der ersten Phase verhielten sich die Versuchsschweine ruhig. Nach dem Betreten der Kammer gingen die Tiere in Richtung Bestärkungsmittel. 18 von 24 Versuchstieren blieben bereits vor dem Erreichen des Lockmittels stehen. Während dieser Zeit hoben manche Schweine den Rüssel in die Höhe.

Die zweite Phase war durch heftige motorische Unruhe gekennzeichnet. Im Mittel traten die Erregungszustände 11,7 Sekunden nach dem Betreten der Kammer auf. Sie begannen meist mit einem Zurückweichen der Versuchsschweine. Anschliessend schüttelten sie den Kopf und rannten in der Kammer herum. Kurz vorher oder gleichzeitig mit dem Umfallen (im Mittel 22,65 Sekunden nach dem Betreten der Kammer) zeigten die Schweine schnappende Atmung mit einer Frequenz von 12–16 Atemzügen pro Minute. Dabei sperrten die Versuchstiere bei jeder Inspiration das Maul weit auf.

In der darauffolgenden dritten Phase lagen die Schweine ruhig in Seitenlage und zeigten die erwähnte schnappende Atmung. Die Konjunktiven und die Skleren waren gerötet. Die Haut v.a. am Unterbauch wies bläulich-violette Flecken von verschiedener Grösse auf. Häufig wurde während dieser Phase Kotabsatz beobachtet. Nachdem die CO₂-Kammer gelüftet worden war, zeigten die Tiere allmählich die folgenden Erscheinungen:

Zuerst begann das Lidspiel zu funktionieren, dann verschwand die Schnappatmung, worauf die Schweine mit den Extremitäten Ruderbewegungen ausführten.

In der letzten Phase kamen die Schweine nach einigen Aufstehversuchen allmählich zum Stehen. Die ersten Gehversuche waren unkoordiniert. Der zeitliche Verlauf des Aufwachens und v.a. des Aufstehens war durch grosse individuelle Unterschiede gekennzeichnet. 83% der Schweine frassen sofort nach dem Erreichen der Boxe ihre Pellets. Spätestens 2 Stunden nach dem Versuch hatten sämtliche Versuchstiere ihre Pellet-Ration aufgefressen. Während 4–5 Stunden nach dem CO₂-Versuch zeigten die Schweine vermehrte Tendenz zum Liegen. 24 Stunden nach dem Versuch verhielten sich die Schweine – wie in Kapitel 4.5. beschrieben wird, machten die Tiere der ersten Versuchsgruppe eine Ausnahme – wieder normal.

4.4.2. Zögern bzw. Verweigern, die Kammer zu betreten beim ersten Versuch mit CO₂ und bei Versuchswiederholungen

1. Versuchsgruppe

Anzahl Schweine, die die CO₂-Kammer betraten

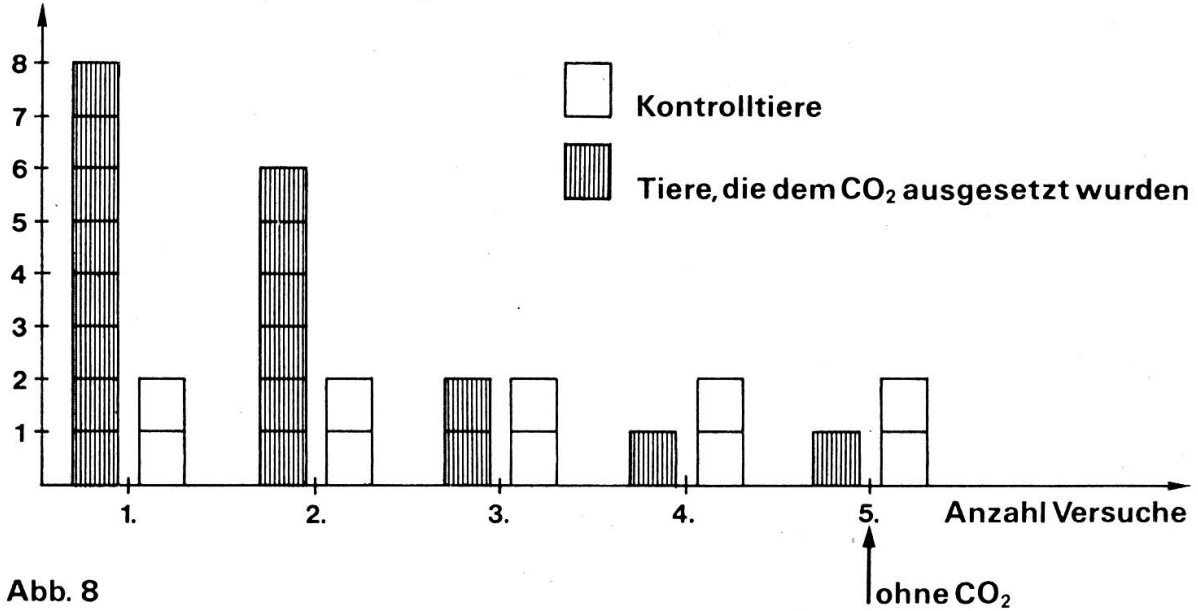


Abb. 8

% Schweine, die die CO₂-Kammer betraten

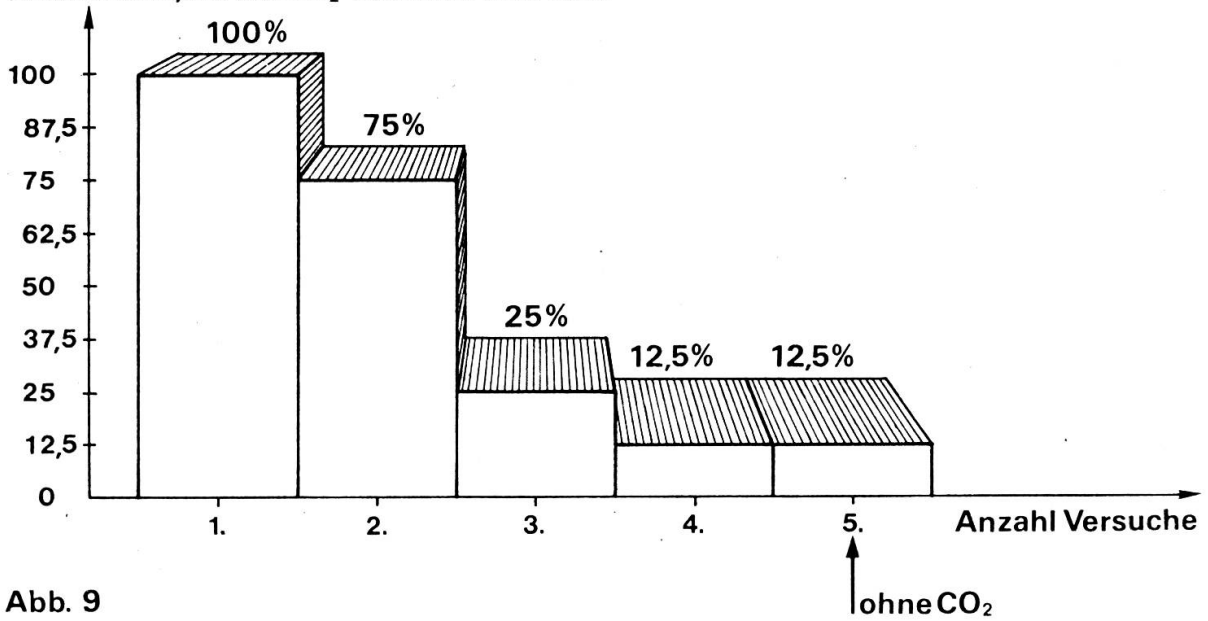


Abb. 9

Auswertung nach Punkten

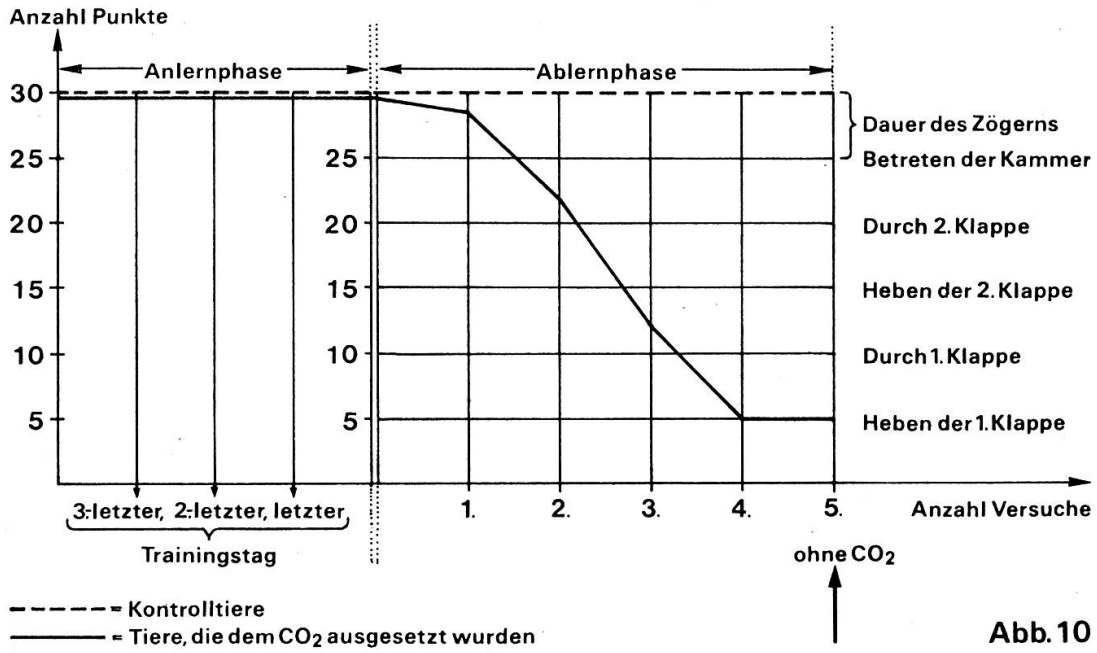


Abb. 10

2. Versuchsgruppe

Anzahl Schweine, die die CO₂-Kammer betreten

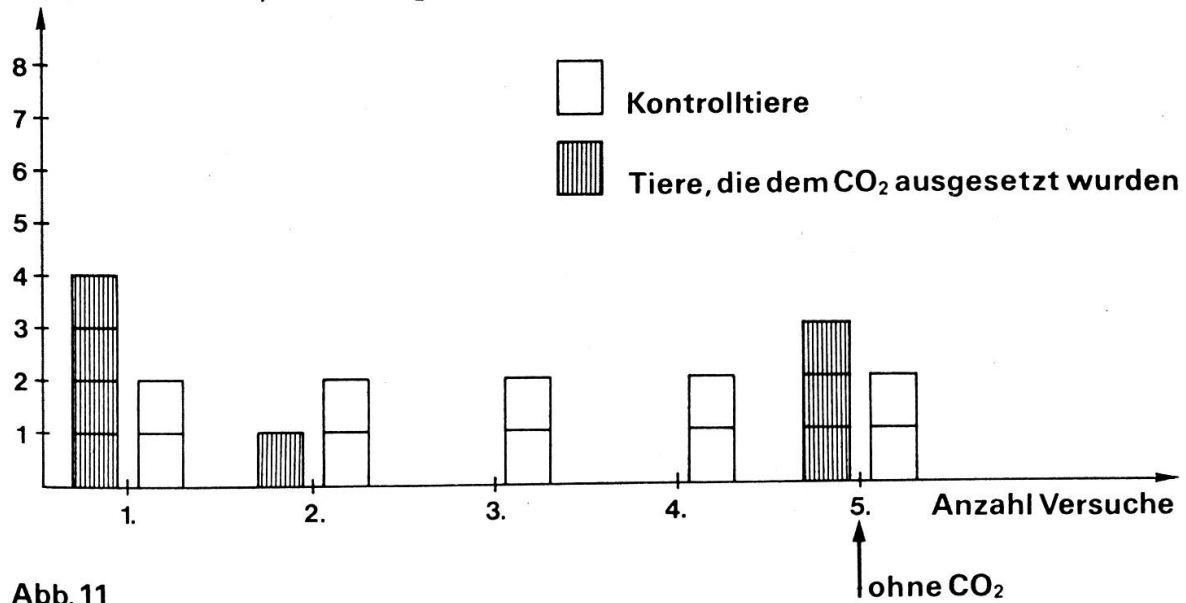


Abb. 11

% Schweine, die die CO₂-Kammer betreten

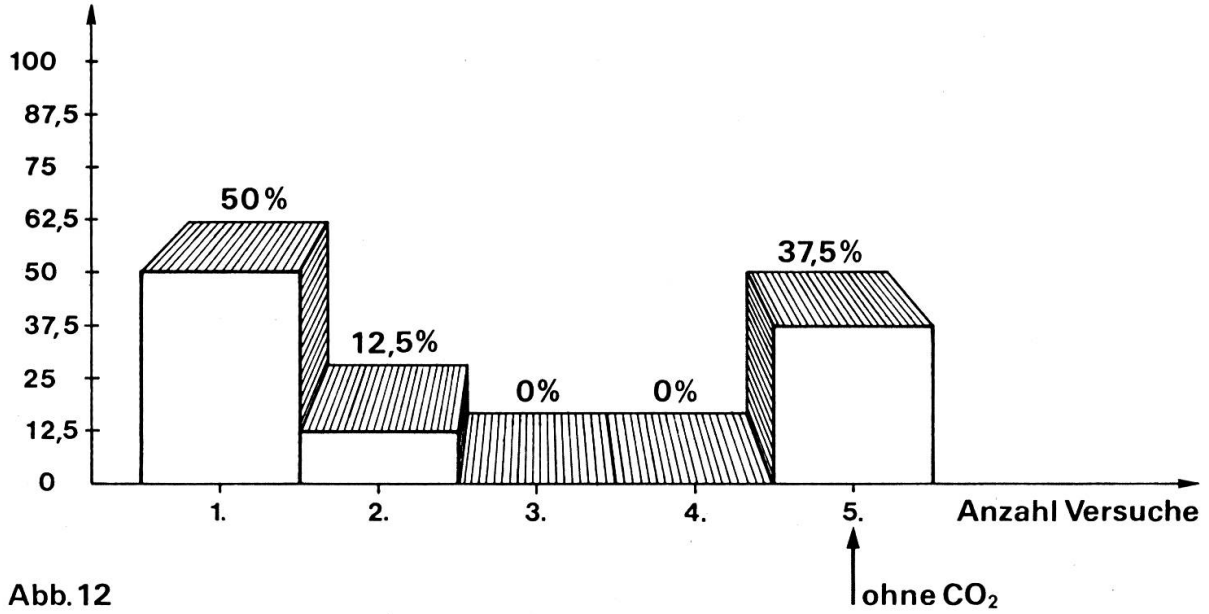


Abb. 12

Auswertung nach Punkten

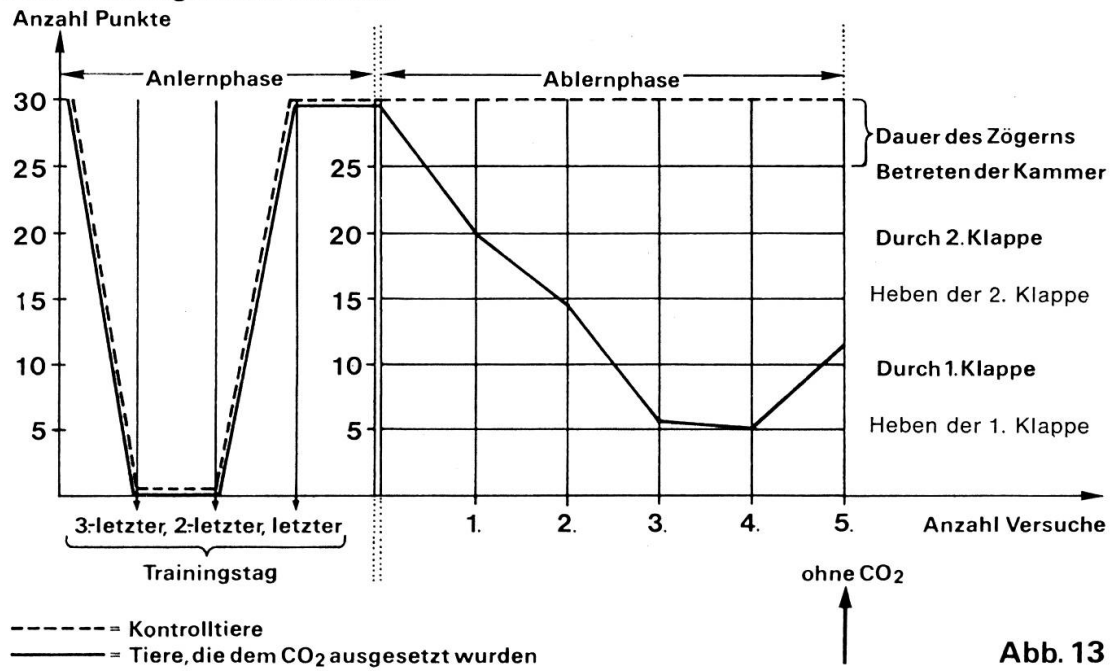


Abb. 13

3. Versuchsgruppe

Anzahl Schweine, die die CO₂-Kammer betraten

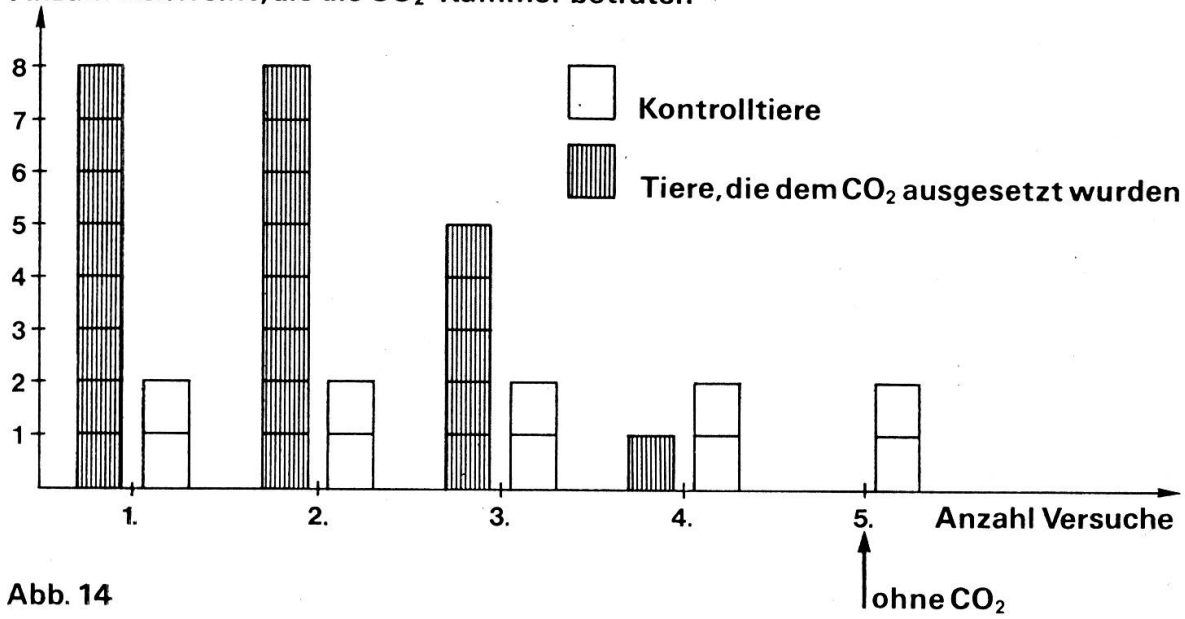


Abb. 14

% Schweine, die die CO₂-Kammer betraten

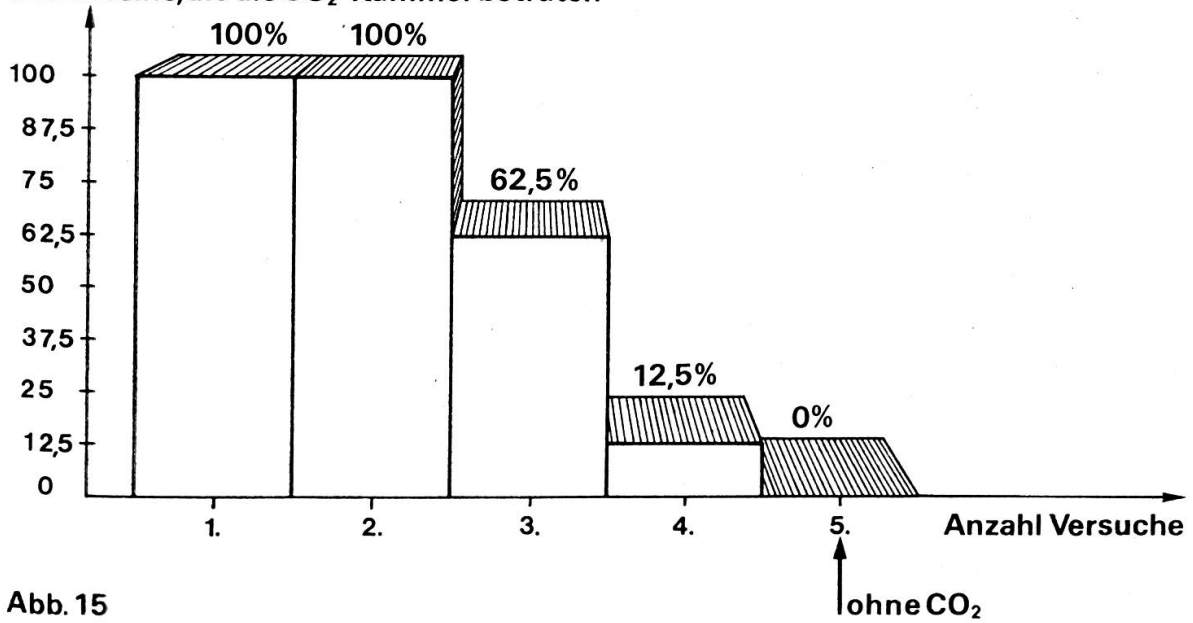
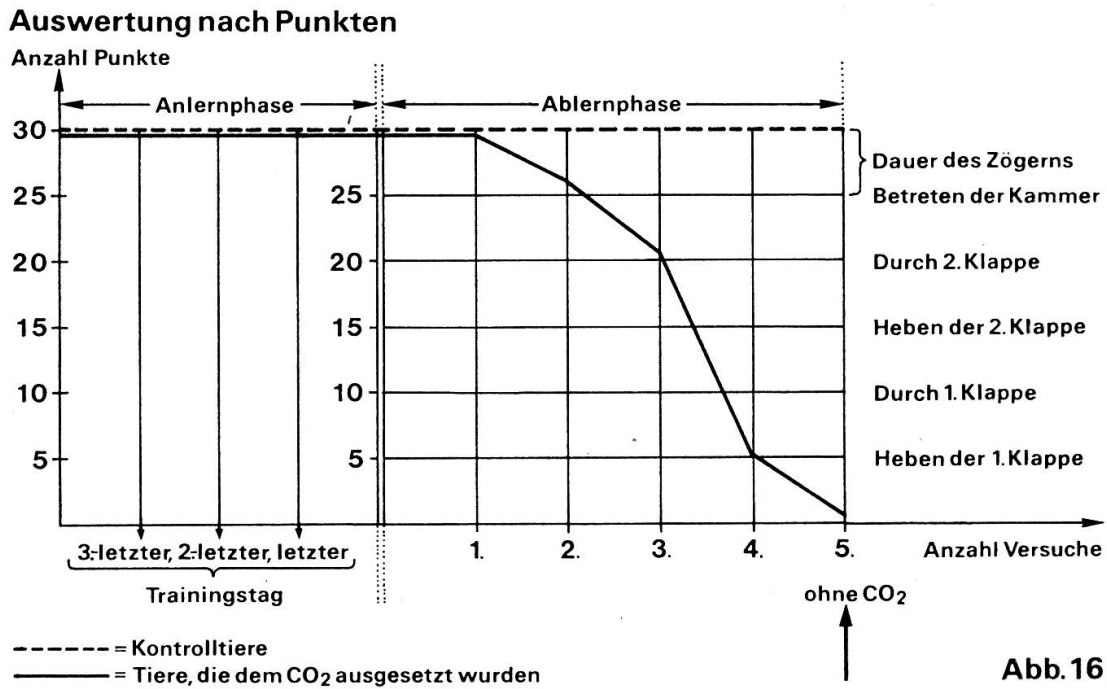


Abb. 15



4.5. Diskussion

Unsere Versuche, bei denen das CO₂ eine ähnliche Konzentration aufwies wie in den Schlachthöfen, lassen sich folgendermassen interpretieren:

Die Ergebnisse der ersten Versuchsgruppe zeigen, dass die Schweine lieber 72 Stunden gedurstet haben, als die CO₂-Betäubung nochmals über sich ergehen zu lassen. Mit dieser Interpretation muss man allerdings vorsichtig sein, denn mit zunehmender Durstdauer nahm auch die Apathie der Schweine zu. Die Schweine der 2. Versuchsgruppe sind weniger lang als jene der andern Gruppen trainiert worden. Zudem hat der 2tägige Unterbruch am 3. letzten Trainingstag die Schweine aus dem Rhythmus gebracht. Der Bestärker (Futterwürfel) war nicht ideal. Dies könnte erklären, weshalb schon im ersten Versuch 50% der Schweine dieser Gruppe das Betreten der Kammer verweigerten.

Bei der 3. Versuchsgruppe, die im Film festgehalten wurde, dauerte die Anlernphase nicht wie vorgesehen 6 Wochen, sondern 7 Wochen, so dass die Schweine dieser Gruppe verglichen mit jenen der andern zwei Gruppen den Versuchsablauf besser kannten. Das schmackhafte Lockfutter in Form von Apfelmus und die Anwendung eines Geruchstoffes (Hairspray), um den möglichen «CO₂-Geruch» in der Schleuse zu überdecken, trugen auch dazu bei, den Schweinen dieser Gruppe das Betreten der Kammer attraktiver zu gestalten. Unter diesen Bedingungen ist es verständlich, dass die Ergebnisse der 3. Versuchsgruppe von denen der andern 2 Gruppen etwas abweichen.

Nach unseren Beobachtungen darf man annehmen, dass das Herumrennen der Schweine während den Erregungszuständen (2. Phase) nicht ziellos ist. Eine Unachtsamkeit während der Versuche konnte dies bestätigen. Nachdem

ein Versuchstier die erste Eingangsklappe zur CO₂-Kammer passiert hatte, blieb die Klappe wegen eines technischen Defektes offen. Obwohl sich das Schwein bis zu $\frac{3}{4}$ in der CO₂-Kammer befand, konnte auch die zweite Klappe nicht zugehen, da sie durch den Rücken des Tieres offen gehalten wurde. Nach einigen Atemzügen kehrte sich das Schwein um, rannte zielbewusst wieder aus der Kammer und torkelte im Stallgang herum.

Das Hochheben des Rüssels ist möglicherweise durch die Wirkung des CO₂ auf die Schleimhäute bedingt. Man weiss, dass CO₂ in hohen Konzentrationen ein Brennen der Schleimhäute verursacht. Durch Selbstversuche konnte dies bestätigt werden.

Die Dauer (Mittelwert 10,95 Sekunden) und die Heftigkeit der motorischen Unruhe (die Schweine wiesen z. T. blutende Wunden und subkutane Blutungen auf, oder sie gingen lahm) weisen darauf hin, dass die Anforderungen an eine gute Betäubung nicht gewährleistet sind [20]. Dass die Schweine bei Versuchswiederholungen trotz Verlockung durch Bestärker sich weigerten, die CO₂-Kammer zu betreten, zeigt nicht nur, dass sie sich an die Erlebnisse in der Kammer erinnern konnten, sondern auch, dass die Versuchstiere die CO₂-Betäubung als ein unangenehmes Erlebnis empfunden haben.

In diesem Zusammenhang ist die Frage aufgetreten, ob die Schweine vor dem Bewusstseinsverlust an Atemnot und Erstickungsangst leiden. Obwohl das Verhalten der Tiere im Kontakt mit CO₂ in diese Richtung weist, kann diese Frage mit unserer Versuchsanordnung nicht eindeutig beantwortet werden.

Das Verhalten der Versuchsschweine während der CO₂-Einatmung und ihre Reaktion bei den Versuchswiederholungen lassen den Schluss zu, dass die CO₂-Betäubung für das Schwein ein länger dauerndes und unangenehmes Erlebnis darstellt und somit den Anforderungen an eine gute Betäubung [20] nicht genügt. Diese Schlussfolgerungen widersprechen den meisten Berichten [13] über Zwischenfälle mit CO₂ beim Menschen. Allerdings darf nicht vergessen werden, dass die CO₂-Konzentration, die z. B. ein Küfer in einem Weinfass, ein Bauer in einem Silo oder ein Arbeiter in einem CO₂-Trockeneis-Kühlraum antrifft, viel niedriger ist als die CO₂-Konzentration unserer Betäubungskammer. Zudem sind bei den erwähnten Arbeitszwischenfällen sehr wahrscheinlich noch andere Gaskomponenten von Bedeutung.

Zusammenfassung

An 30 Versuchsschweinen wurden Betäubungsversuche mit CO₂ durchgeführt, um abzuklären, ob die CO₂-Methode die Anforderungen an eine gute Betäubung erfüllt. Nachdem die Tiere gelernt hatten, selbständig nach Öffnen zweier Klappen und Passieren einer Schleuse eine Kammer zu betreten – in der sie einen Bestärker erhielten – wurden sie in dieser Kammer mit einem Luft-CO₂-Gemisch (71 ± 3 Vol.-% CO₂) betäubt. Die Versuche wurden 5mal im Abstand von 24 h durchgeführt.

Das Verhalten der Tiere im Kontakt mit CO₂ bzw. Zögern oder Verweigern, die Kammer nach dem jeweiligen CO₂-Kontakt zu betreten, lieferten einen Schlüssel, die CO₂-Betäubung zu bewerten. Aus den Versuchsergebnissen muss man schliessen, dass die

Betäubung von Schlachtschweinen mit CO₂ den Anforderungen an eine gute Betäubung [20] nicht genügt.

Das Verhalten der Schweine der 3. Versuchsgruppe wurde in einem Film festgehalten.

Résumé

Une étude a été entreprise dans une expérimentation comprenant 30 pores pour savoir si l'anesthésie au CO₂ remplissait toutes les conditions d'un bon étourdissement. On a d'abord appris aux animaux à pénétrer volontairement dans un local après l'ouverture de deux portillons et le passage à travers un sas; arrivés à destination les pores recevaient une friandise. Puis ils ont été étourdis dans un mélange d'air et de CO₂ (71 ± 3 Vol.-% CO₂). Les expériences ont été répétées 5 fois avec un intervalle de 24 heures.

Le comportement des animaux au contact du CO₂, respectivement les hésitations ou les refus de pénétrer dans le local après le contact avec le CO₂ ont permis d'apprécier l'anesthésie au CO₂. De ces expériences on doit déduire que l'étourdissement au CO₂ de pores de boucherie ne satisfait pas aux conditions d'un bon étourdissement [20].

Le comportement des pores du troisième groupe d'essais a été filmé.

Riassunto

Si è condotta una indagine sperimentale su 30 suini per verificare se il trattamento con CO₂ è in grado di dare un buon stordimento. Gli animali sono stati dapprima addestrati ad entrare volontariamente in un locale aprendo due portelli e passando attraverso un corridoio. Giunti a destinazione i suini ricevevano del cibo. Raggiunto l'addestramento i soggetti sono stati storditi nel locale di arrivo con una miscela di aria e CO₂ (71 ± 3 Vol.-% CO₂).

Gli esperimenti sono stati ripetuti 5 volte ad intervalli di 24 ore. Il comportamento degli animali al contatto con CO₂, le esitazioni o il rifiuto ad entrare nel locale dopo il contatto con CO₂, hanno consentito di valutare l'anestesia da CO₂. In base a questi parametri si è dedotto che lo stordimento con CO₂ dei suini alla macellazione non è soddisfacente.

Il comportamento dei suini del terzo gruppo è stato filmato.

Summary

30 pigs were used in experiments in which they were anaesthetized with CO₂ in order to find out if the CO₂ method fulfils the requirements of a good anaesthetic. After the animals had learned to open the two hatches of their own accord and pass along a corridor into a chamber – in which they were given a reward – they were anaesthetized in this chamber with a mixture of air and CO₂ (71 ± 3 Vol.-% CO₂). These experiments were carried out 5 times with an interval of 24 hours between them.

The behaviour of the animals in contact with the CO₂, i.e. their hesitancy or refusal to enter the chamber after each contact with the CO₂, provided a clue to the value of this type of anaesthesia. The results of the experiments lead inevitably to the conclusion that the use of CO₂ for anaesthetising pigs before slaughter does not correspond to the requirements of a good anaesthetic.

The behaviour of the pigs in the third experimental group was recorded on a film.

Literatur

- [1] Albitzki P.: Über die Rückwirkung resp. Nachwirkung des CO₂ und über die biologische Bedeutung der im Körper gewöhnlich vorhandenen Kohlensäure. Pflügers. Arch. f. d. ges. Physiol. 145, 1 (1912). – [2] Bendersky M.J.: Sur l'anesthésie des animaux, par un mélange d'acide carbonique et d'oxygène. Comptes rendus Soc. Biologie (Paris) 57, 458 (1904). – [3] Benedicenti D.: Die Wirkung der Kohlensäure auf die Atmung. Arch. of Physiol. 96, 408

- (1896). – [4] Bert P.: La pression barométrique. Paris: G. Masson, Libraire de l'académie de médecine 1878. – [5] Blomquist S.M.: The CO₂-Method of stunning pigs for slaughter. Food manufacture 32, 230 (1957). – [6] Dripps R.D. und Severinghaus J.W.: General Anesthesia and Respiration. Physiol. Rev. 35, 741 (1955). – [7] Eisele J.H. et al.: Narcotic properties of CO₂ in the dog. Anesthesiology 28, 856 (1967). – [8] Friedländer und Herter: Über die Wirkung von Kohlensäure auf den tierischen Organismus. Zeitschr. f. Phys. chem. 2 (3), 103(20) (1878[79]). – [9] Ganong W.F.: Medizinische Physiologie. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1972. – [10] Gellhorn E. und French L.A.: Carbon dioxide and cortical spike frequency (1). Arch. internat. pharmacodyn. 93, 427 (1953). – [11] Graham G.R. et al.: Die Wirkung hoher CO₂-Konzentrationen auf Kreislauf und Atmung. Anaesthetist 9, 70 (1960). – [12] Hille B.: Charges and Potentials at the Nerve Surface. J. gen. Physiol. 51, 221 (1968). – [13] Jaulmes P. und Hamelle G.: Asphyxie par le gaz carbonique à bord d'un bateau-citerne. Méd. lég. et domage corp. 1, 216 (1968). – [14] Laborit G. et al.: Bases biologiques d'une carbonarose expérimentale inoffensive et efficace. Agressologie 4, 429 (1966). – [15] Laborit H. et al.: Intervention de l'anhydrase carbonique dans le mécanisme des variations du tonus des fibres cardiaques et vasculaires isolées, sous l'action du CO₂. Agressologie 1, 43 (1960). – [16] Leutbecher R.: Die CO₂-Betäubung der Schlachtschweine und deren Anwendbarkeit auf die Verhältnisse der DDR. Diss. Berlin 1959. – [17] McArdle L. und Roddie I.C.: Vascular responses to CO₂ during anaesthesia in man. Brit. J. Anaesth. 30, 358 (1958). – [18] Metzler A.: Persönl. Mitteilung (unveröffentlicht). – [19] Mullenax C.H. und Dougherty R.W.: Physiologic Response of Swine to high concentrations of inhaled CO₂. Amer.J. of Vet. Res. 24, 329 (1963). – [20] Müller A. und Engeli P.: Die elektrische Betäubung von Schlachtschweinen. Die Fleischwirtschaft 10, 1346 (1968). – [21] Nunn J.F.: The effects of hyperkapnia in: Evans F.T. und Gray T.C. Modern trends in Anaesthesia 2. London, Butterworths, 1962. – [22] Overstreet J.W. et al.: Effect of stunning methods on porcine muscle glycolysis. J. of animal science 41, 1014 (1975). – [23] Parade G.W.: Beobachtungen über Kohlensäurevergiftungen bei dem Neuroder Unglück. Dtsch. med. W'schr. 33, 1385 (1930). – [24] Plavec W.: Über die Bedeutung der Blutgase für die Atembewegungen. Pflügers Arch. für Physiol. 79, 195 (1900). – [25] Prausnitz C.: Untersuchungen über die Einwirkung höherer Kohlensäurekonzentrationen der Atemluft. Med. Klinik 8, 282 (1928). – [26] Price H.L.: Effects of CO₂ on the cardiovascular system. Anesthesiology 21, 652 (1960). – [27] Riege W.H. und Cherkin A.: Sensitive Period for Reversal of CO₂-Amnesia in Goldfish. Behav. Biology 12, 477 (1974). – [28] Scheunert A. und Trautmann A.: Lehrbuch der Veterinärphysiologie. Paul Parey, Berlin u. Hamburg 1965. – [29] Stinson J.M. und Mattsson J.L.: Tolerance of rhesus monkeys to graded increase in environmental CO₂: serial changes in heartrate and cardiac rythmes. Aerospace Med., Minneapolis 41, 415 (1970). – [30] Stinson J.M. und Mattsson J.L.: Cardiac depression in the detection of high environmental CO₂: a comparative study in rhesus monkeys and chimpanzees. Aerospace Med., Minneapolis 42, 78 (1971). – [31] Sybesma W. und Croen W.: Stunning procedures and meat quality. 16th meeting of European Meat Research Workers, Varna Bulgaria, Sept. 1970. – [32] Taber J.R. und Banuazizi A.: CO₂-induced retrograde amnesia in a one-trial learning situation. Psychopharm. (Berl.) 9, 382 (1966). – [33] Thompson R.: The comparative effect of electro convulsive shock and seizure pattern on retrograde amnesia. J. comp. physiol. Psychol. 50, 397 (1957). – [34] Wasterlain C.G.: CO₂-anaesthesia inhibits RNA-synthesis. Brain Research 21, 452 (1970). – [35] Wernberg N.E.: Anlage für die CO₂-Betäubung von Schlachtschweinen. Die Fleischwirtschaft 12, 752 (1957). – [36] Woodbury D.M. und Karler R.: The role of CO₂ in the nervous system. Anesthesiol. 21, 686 (1960).

REFERAT

Was haben Kunststoffe beim Hufschmied zu tun?

(IC). – Der Erfinder des Hufeisens dachte wohl nie daran, dass seine Erfindung, die Pferdehufe vor Abnutzung schützen sollte, die Griffigkeit der Pferdehufe auf Asphaltstrassen praktisch aufheben würde. Es brauchte jedoch lange, bis sich ein amerikanischer Tierarzt dieses Problems eingehend annahm.