Die Betäubung von Schlachtschweinen mit Helium

Stunning slaughter pigs with helium

M. MACHTOLF, M. MOJE, K. TROEGER und M. BÜLTE

Zusammenfassung

In der kommerziellen Schlachtung von Mastschweinen wird als Betäubungsgas Kohlendioxid (CO_2) eingesetzt. Die Verwendung von CO_2 steht jedoch aus Sicht des Tierschutzes in der Kritik, denn Mastschweine weisen bei Gaskontakt Symptome einer Atemnot auf und viele Tiere zeigen aversive Reaktionen (Fluchtversuche und Lautäußerungen). Alternative Gasbetäubungsverfahren fehlen bislang. Ziel der Studie war es daher, erstmals das Edelgas Helium zur Betäubung von Mastschweinen einzusetzen und zu erproben. Insgesamt wurden 80 Schlachtschweine, 40 davon in einer Helium-Anlage (experimentelle Baukonstruktion) und 40 in einer kommerziellen CO_2-Dip-Lift-Anlage (Firma Butina) betäubt. Es wurden Parameter des Tierwohls (Verhaltensbeobachtungen, Katecholaminanalysen, Schallpegelmessungen) und Parameter der Schlachtkörper- und Fleischqualität (unter anderem Untersuchung auf petechiale Blutungen, pH-Werte, sensorische Beurteilung) erhoben. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass im Gegensatz zur Betäubung mit CO_2 eine Betäubung von Schlachtschweinen mit Helium eine tierschonende Methode darstellen kann. Die Tiere hatten keine aversiven Reaktionen in einer Heliumatmosphäre und auch die resultierende Schlachtkörper- und Fleischqualität war vergleichbar und in Teilaspekten besser als die der Tiergruppe nach CO_2-Betäubung.

Summary

For commercial pig slaughter carbon dioxide (CO_2) is used in gas stunning systems. However, in terms of animal welfare CO_2 has been criticized. At gas contact pigs show symptoms of respiratory distress and some animals even display aversive (escape attempts and vocalization). An alternative gas stunning method has not been developed. The aim of this research project was a primary attempt to using helium, an inert gas, to stun pigs. A total of 80 slaughter pigs, 40 of them in a helium enclosure (experimental facility) and the other 40 in a commercial CO_2 dip-lift system (Butina Company), were stunned. Implications for animal welfare (behavior observations, stress hormone and sound level analyses) as well as carcass and meat quality parameters (analyses of petechial hemorrhages, pH values, sensory evaluation etc.) were investigated. The results indicate that, in difference to CO_2, stunning with helium can be an animal-friendly method. The pigs showed no aversive behavior inside the helium-atmosphere; in addition, the carcass and meat quality were comparable and in some aspects better in distinction to the animal group after CO_2 stunning.

Schlüsselwörter	Schweine – Betäubung – Kohlendioxid – Helium – Tierschutz – Schlachtkörperqualität – Fleischqualität
Key Words	pigs – stunning – carbon dioxide – helium – animal welfare – carcass quality – meat quality

Einleitung

Um Schlachttiere vor vermeidbarem Schmerz, Stress und Leiden zu schützen, ist vor der Tötung ein gesetzlich vorgeschriebenes Betäubungsverfahren anzuwenden. Die Betäubung soll einen Zustand der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit erzeugen, der bis zum Tod des Tieres anhält. Seit diesem Jahr gelten die Vorgaben der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 zum Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung. Als Umsetzung in nationales Recht wurde die neue Tier-

schutz-Schlachtverordnung (TierSchlV) vom 20. Dezember 2012 verabschiedet. In der kommerziellen Schlachtung sind für Schlachtschweine elektrische Verfahren und die Betäubung unter Verwendung von Gas vorgesehen. Eine neue gesetzliche Vorgabe ist, dass zukünftig neben Kohlendioxid (CO_2) auch inerte Gase (Edelgase und Stickstoff) zur Betäubung von Mastschweinen eingesetzt werden können. Als Betäubungsgas wird bisher einzig CO_2 verwendet. Die CO_2-Betäubung weist im Vergleich zur Elektrobetäubung verschiedene ökonomische und technologische Vorteile auf. Die bestehenden CO_2-Anlagen sind so konzipiert, dass der Zutrieb von Schweinen als Tiergruppe möglich ist. In den sogenannten Betäubungsgondeln werden mehrere Tiere gleichzeitig betäubt (ATKINSON *et al.* 2012). Dies ermöglicht hohe Tagesschlachtleistungen. Auch sind positive Effekte auf die resultierende Schlachtkörper- und Fleischqualität, verglichen mit elektrischen Verfahren, festzustellen (CHANNON *et al.* 2002, VELARDE *et al.* 2000). Derzeit wird die Mehrzahl der Mastschweine in der europäischen Union mit CO_2 betäubt (PASSANTINO, 2009).

Aus Sicht des Tierschutzes hingegen wird der Einsatz von CO_2 kritisch diskutiert. Ein Anstieg von CO_2 in der Atemluft von Säugetieren führt, durch die Anregung spezifischer Chemosensoren, unmittelbar zu einer massiven Steigerung der Atemfrequenz (NATTIE, 1999). Während der Einleitungsphase einer CO_2-Betäubung sind bei Mastschweinen Symptome der Hyperventilation mit deutlich ausgeprägter Atemnot zu erkennen (HARTUNG *et al.,* 2002, RAJ *et al.,* 1990). Eine Vielzahl von Tieren zeigt aversive Verhaltensweisen. Dieses Abwehrverhalten äußert sich in Form von Fluchtversuchen in der Betäubungsgondel und lauter Vokalisation (DALMAU *et al.,* 2010_B, LLONCH *et al,* 2012). Untersuchungen der Hirnaktivität zeigen, dass zum Zeitpunkt solcher Reaktionen die Tiere noch bei Bewusstsein sind (MARTOFT *et al.,* 2002). Die Betäubungswirkung des CO_2 beruht auf dem Absenken des pH-Wertes der Cerebrospinalflüssigkeit im Zentralen Nervensystem (EISELE *et al.,* 1967). Um diesen Effekt auszulösen, vergehen auch bei den gesetzlich vorgeschriebenen Gaskonzentrationen mehrere Sekunden. Die Mindestkonzentration am ersten Halt der Gondel beträgt 80 Vol.-% CO_2 auf Kopfhöhe der Tiere. In Untersuchungen von VELARDE *et al*. (2007) zeigten Mastschweine in 90 Vol.-% CO_2 nach 22,4 Sekunden den Verlust des Stehvermögens, RAJ *et al*. (1997) wiesen in 80 Vol.-% CO_2 nach 31,9 Sekunden Gasexposition die Bewusstlosigkeit von Schweinen nach. Analysen der Belastungsindikatoren Adrenalin und Noradrenalin im Stichblut CO_2 betäubter Schweine, ergaben eine bis zu 1000-fache Erhöhung der basalen Konzentrationen dieser Hormone (HARTUNG *et al.,* 2002, MACHOLD *et al.,* 2003, NOWAK *et al.,* 2007). Mit Hilfe von Verhaltensstudien konnte gezeigt werden, das Mastschweine den Kontakt einer CO_2 angereicherten Gasatmosphäre mit einer unangenehmen Erfahrung verbinden (CANTIENI, 1977, RAJ *et al.,* 1995, VELARDE *et al.,* 2007).

Im Jahr 2004 bewertete die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA, 2004) Tierschutzaspekte der kommerziellen Systeme zur Betäubung und Tötung von Nutztieren. Auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungen kamen die Gutachter zu dem Urteil, dass die CO_2-Betäubung von Mastschweinen kein tiergerechtes Verfahren darstellt. Ihre Empfehlung lautete, den Einsatz von CO_2 schrittweise einzustellen und alternative Verfahren zu entwickeln.

Seit 1995 gab es mehrere Ansätze, alternative Gasverfahren zu erproben (DALMAU *et al.,* 2010_A, MACHOLD *et al.,* 2003, RAJ, 1999, RAJ *et al.,* 1995). Untersucht wurden die Betäubungseigenschaften des Edelgases Argon sowie Argon-Stickstoff-Mischungen. Bei den Edelgasen, sowie Stickstoff, handelt es sich um chemisch inerte Gase die keine, bzw. nur selten Reaktionen mit anderen Molekülen eingehen. Für eine Betäubung muss der Anteil dieser Gase am Atemgasgemisch über 90 Vol.-% betragen (EFSA, 2004). In einer solchen Gasatmosphäre wird bei Säugetieren innerhalb weniger Sekunden im Gehirn ein Sauerstoffmangel erzeugt. Dieser hypoxische Zustand wird von Chemosensoren im Tier nur verzögert registriert (GRASSBERGER *et al.,* 2007). Der Bewusstseins-

verlust resultiert ohne die Aktivierung von Schutzmechanismen (RAJ *et al.,* 1995). Mehrere Studien konnten nachweisen, dass Schweine keine aversiven Reaktionen auf den Gaskontakt mit Argon oder das Gasgemisch Argon-Stickstoff aufwiesen und eine effektive Betäubung möglich war (DALMAU *et al.,* 2010_A, RAJ, 1999). Allerdings ergab die Beurteilung der Schlachtkörperqualität, dass vermehrt Blutpunkte in wertvollen Teilstücken auftraten (MACHOLD *et al.,* 2003).

Als Ursache dieser petechialen Blutungen werden starke Muskelkontraktionen unmittelbar nach dem Bewusstseinsverlust diskutiert (LLONCH *et al.,* 2012). Da vermehrte Schlachtkörperschäden aus ökonomischer Sicht nicht tragbar wären, ist bislang kein inertes Gasgemisch ermittelt worden, das für den kommerziellen Einsatz in der Schlachtung in Frage käme.

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde erstmals das Edelgas Helium zur Betäubung von Schlachtschweinen eingesetzt. Ziel des Forschungsvorhabens war es, eine Bewertung der Betäubungsmethode mit Helium im Vergleich zur herkömmlichen CO_2-Betäubung durchzuführen. Untersucht wurden die Auswirkungen des Betäubungsverfahren auf das Tierwohl sowie die resultierende Schlachtkörper- und Fleischqualität.

Material und Methoden

Mastschweine

Insgesamt wurden 80 Mastschweine von zwei Mästern aus der Region Oberfranken am städtischen Schlachthof Kulmbach betäubt und geschlachtet. Die Tiere waren Gebrauchskreuzungen aus Pietrain (Pi), Deutsche Landrasse (DL) und Deutsches Edelschwein (DE) bzw. (Pi x DL) und Pi x (DE x DL), davon 48 weiblich und 32 männlich-kastriert. Eine Helium-Tiergruppe (n = 40) wurde im Notschlachtraum des Schlachthofes in einer Helium-Betäubungsanlage, Eigenkonstruktion des Max Rubner-Instituts, betäubt. Die CO_2-Tiergruppe (n = 40) wurde in der kommerziell genutzten CO_2-Anlage betäubt. Für die Versuche lag eine Genehmigung der Helium- und Einzeltierbetäubung mit CO_2 nach §14 der TierSchlV von 1997 vor (TierSchlV von 2012 § 13).

Helium-Betäubungsanlage

Die Betäubung mit Helium erfolgte auf Grund der geringeren Dichte als Luft (Vergleich Helium: 0,18 kg/m^3, Luft:1,20 kg/m^3) mit Hilfe des sog. Glockenprinzips. Ein nach unten offener Acrylglaskasten (1,75 m Länge, 0,90 m Breite, 1,55 m Höhe, 15 mm Wandstärke) wurde mit Helium in Form von Ballongas (Helium 4.6) gefüllt und über einem Tierkäfig, wie eine Glocke, abgesenkt (Abb. 1).

Abb. 1: Helium-Betäubungskonstruktion: Querseite der vor dem Zutrieb (links) und Längsseite nach Zutrieb eines Versuchstieres in abgesenkter Position (rechts)

Die aus einem Flaschenbündel ausgeströmte Heliummenge (in Liter pro Minute) sowie die Konzentrationen von Helium und Sauerstoff (in Vol.-%) wurden über ein, von der Firma HTK (HTK Hamburg GmbH, Hamburg) für den Versuchsaufbau abgestimmtes, Steuerungs- und Messgerät kontrolliert. Es wurde eine Atmosphäre von 98,5 Vol.-% Helium erzeugt. Der Sauerstoffgehalt in der Restluft unterlag geringfügigen Konzentrationsschwankungen und betrug im Durchschnitt 1,5 Vol.-%. Der Zutrieb der Tiere in den Tierkäfig erfolgte über eine Trittrampe. Die Helium-Tiere wurden einzeln in einem Zyklus (Absenken der Betäubungsglocke, Verweildauer über dem Schwein, Auffahrt der Glocke) von 180 Sekunden (s) betäubt. Anschließend wurde eine Betäubungskontrolle (Korneal- und Nasenscheidewandreflex) und der Entblutestich nach 15 bis maximal 30 s am liegenden Tier durchgeführt. Unmittelbar im Anschluss wurden die Tiere, an einer Hintergliedmaße (50 % Rechts/50 % Links) angeschlungen und vertikal entblutet.

Kohlendioxid-Betäubungsanlage

Aufgrund der größeren Dichte von CO_2 (1,98 kg/m^3) im Vergleich zu Luft wurden bei der CO_2-Betäubungsanlage (Typ Dip-Lift, Fa. Butina, Dänemark) hohe Gaskonzentrationen im unteren Teil der 3,5 m tiefen Grube erreicht. Bei der Anlage des Typs Dip-Lift ist eine Tiergondel für maximal 3 Mastschweine vorhanden sowie Messsensoren für den CO_2-Gehalt. Der Betäubungszyklus (Abfahrt der Gondel, Verweildauer der Gondel am Boden der Grube, und der Auffahrt der Gondel) betrug 130 s, bei einer Konzentration von im Mittel 90 Vol.-% CO_2 und 10 % Restluftgehalt. Die Mastschweine wurden analog zur Heliumgruppe einzeln betäubt und nach Auswurf aus der Gondel nach 15 - 20 s hängend entblutet. Jeweils eine Hälfte der CO_2-Tiere wurde an der rechten, die andere an der linken Hintergliedmaße angeschlungen.

Alle Tierkörper wurden im Schlachthof in das Schlachtband eingeschleust, ausgeschlachtet, hergerichtet, der amtlichen Fleischuntersuchung unterzogen und klassifiziert.

Erfassung tierschutzrelevanter Parameter

Beide Tiergruppen wurden während der Gasexposition gefilmt (DCR-TRV50E, Sony Corporation, Japan).

Es erfolgte eine detaillierte Analyse des Verhaltens. Die folgenden Verhaltensweisen wurden erfasst:

- *keine Reaktionen* auf den Gaskontakt,
- *Zurückdrängen* in der Gondel/Tierkäfig,
- *Hyperventilation* mit nach oben Strecken des Kopfes, Maulatmung und Atemnot,
- *Fluchtversuche* mit Sprüngen in der Gondel mit möglicher Vokalisation.

Um die Lautstärke von Lautäußerungen zu ermitteln wurde an einer einheitlichen Position an der CO_2-Betäubungsanlage der Schallpegel bestimmt (PCE-322A, PCE Deutschland GmbH, Menschede). Des Weiteren wurde die Zeitdauer bis zum Bewusstseinsverlust der Tiere ermittelt, gekennzeichnet durch einen Verlust des Stehvermögens mit nachfolgenden unkontrollierten Muskelkontraktionen (ERHARDT *et al.*, 1989). Diese als Exzitationen bezeichneten Reaktionen resultierten aus dem Verlust der Hemmung des zentralen Nervensystems.

Eingeteilt wurde die Stärke der Exzitationen in Grad 0 (keine Kontraktionen), Grad 1 (leichtes Muskelzittern der Rumpfmuskulatur sowie angedeutet Laufbewegungen), Grad 2 (mittlere Muskelspasmen mit Streckkrämpfen und leichten Laufbewegungen) und Grad 3 (starke Muskelspasmen mit Streckkrämpfen und heftigen Kick-Bewegungen).

Zur Feststellung der Belastungsstärke durch das Betäubungsverfahren wurden im Stichblut die Stresshormongehalte (Katecholamine) ermittelt. Aus dem Blut jedes Tieres wurden 4 ml in einem mit Ethylendiamintetraessigsäure versetzten Probengefäß (EDTA 75 PPn, Kabe Labortechnik,

Nümbrecht-Elsenroth) aufgefangen und bei 3000 Umdrehungen 10 Minuten (min) zentrifugiert. Im Anschluss wurde vom Blutplasma 0,5 ml in ein Eppendorf-Reaktionsgefäß (Safe Lock 2 ml, Eppendorf, Hamburg) überführt. Dieses wurde auf Eis gekühlt, bevor die Probe bei -80 °C bis zur weiteren Bearbeitung gelagert wurde. Die Konzentrationen der Katecholamine bzw. von Adrenalin und Noradrenalin wurden mit dem 2-CAT Plasma ELISA (BTBA E-4500, Biotrend, Köln) bestimmt. Aufgrund der erhöhten Katecholamingehalte im Blut der geschlachteten Schweine wurde vor der Bearbeitung des Test-Kits das Probenplasma 1:200 mit Aqua dest. verdünnt. Alle weiteren Bearbeitungsschritte erfolgten nach Anleitung des Tests. Mit Hilfe des Microplate-Reader Expert 96 (Asys, Biochrom Ltd., Cambridge, United Kingdom) und der Software Ridasoft Win.net (r-biopharm, Darmstadt) wurden die Extinktionswerte bestimmt und die Daten ausgewertet.

Erfassung der Schlachtkörper- und Fleischqualität

Nach der Klassifizierung wurden die Schlachtkörper- und Fleischqualitätsparameter jeweils an der linken Schlachtkörperhälfte erhoben. Untersuchte Muskelgruppen waren der *M. semimembranosus* (SM) und der *M. longissimus dorsi* (LD). In Tabelle 1 sind die geprüften Fleischqualitätsparameter, Messzeitpunkte und Methoden aufgeführt. Im Anschluss an die Messung 45 min post mortem (p. m.) von pH_1 und Muskelkerntemperatur (T_{45}) wurden die Tierkörperhälften zunächst für 35 min im Kühltunnel bei 0 °C und nachfolgend im Kühlhaus bei 1 - 2 °C aufbewahrt. Nach 24 Stunden (h) wurden der pH_{ult}, die Muskelkerntemperatur (T_{24}) und elektrische Leitfähigkeit (LF_{24}) bestimmt. Die Messung der Fleischfarbe (L*a*b*- $Werte_{24}$) des SM fand ebenfalls an der Schlachtkörperhälfte statt, die L*a*b*- $Werte_{48}$ des SM an einer Fleischscheibe des Teilstücks Oberschale.

Zur Beurteilung möglicher Schlachtkörperschäden in Form von petechialen Blutungen wurden alle Schlachtkörperhälften 24 h p. m. in Teilstücke nach der DLG-Schnittführung (Arbeitsunterlagen DLG, 1985) zerlegt und entbeint. Alle Teilstücke wurden makroskopisch untersucht. Die Teilstücke Lachs (LD) und Oberschale (SM) wurden 48 h p. m. in 1,5 cm breite Scheiben aufgeschnitten, um die Schnittflächen abzumustern. Im Anschluss wurde jeweils eine Fleischscheibe für eine sensorische Prüfung verwendet. Sechs DLG-zertifizierte Sensoriker beurteilten die gegrillte Fleischscheibe nach Aroma, Saftigkeit, Zartheit nach einem 6 Punkte-Schema (6 = sehr gut bis 1 = ungenügend). Es wurden abschließend der Tropfsaft- und Grillverlust gravimetrisch erfasst.

Die statistische Auswertung der Parameter fand mit dem Programm NCSS 2007 (Version 07.1.20, NCSS, LLC.Kaysville, Utha, USA) statt. Mit Hilfe des Shapiro-Wilks-, Kolmogorow-Smirnow und D`Agostino-Test wurden die Datensätze auf Normalverteilung geprüft. Lag Normalverteilung vor, wurde zur Prüfung, ob sich die empirisch gefundenen Mittelwerte der Helium- und CO_2-Tiergruppe systematisch unterscheiden, ein T-Test durchgeführt. Bei nicht normal verteilten Datensätzen wurden mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Test, ein Rangsummentest, die Mittelwertsunterschiede beider Betäubungsgruppen untersucht.

Tab. 1: Angewandte Methoden zur Erfassung der Fleischqualitätsparameter

Parameter	Messzeit p. m.	Messstellen	Messgeräte
pH-Wert pH_1 pH_{ult}	 45 min 24 h	SM[a]: Einstechtiefe 3 cm, 5 cm vom caudalen Ende der Beckensymphyse im Winkel von 120° oberhalb der Symphyse, LD[a]: Einstechtiefe 12 cm, in die Muskulatur zwischen 13. und 14. Dornfortsatz der Brustwirbelsäure	pH-Meter Portamess Typ 913, Knick, Berlin
Muskelkerntemperatur T_{45} °C T_{24} °C	 45 min 24 h	SM: 8 cm vom caudalen Ende der Beckensymphyse im Winkel von 120° oberhalb der Symphyse, in der Tiefe der Muskulatur LD: zwischen 14. und 15. Dornfortsatz der Brustwirbelsäure in der Tiefe der Muskulatur	Temperatursonde Pt 1000, Typ ZU 0156, Knick, Berlin
elektrische Leitfähigkeit LF_{24}mS/cm	 24 h	LD/ SM wie für den pH-Wert beschrieben	LF-Star, Fa. Matthäus, Pöttmes
Farbe $(L^*a^*b^*)_{24}$	24 h	SM: 30 min nach frischem Anschnitt der Schlachtkörperhälfte, im Bereich oberhalb der Beckensymphyse LD: 30 min nach Entnahme einer Muskelscheibe zwischen 13. und 14. Dornfortsatz der Brustwirbelsäule	Chroma-Meter CR-300, bei D65, Minolta, Osaka, Japan
Farbe $(L^*a^*b^*)_{48}$	48 h	SM: 30 min nach frischem Anschnitt der Oberschale	Chroma-Meter s.o.
Tropfsaftverlust %	72 h	LD/SM Methode: gravimetrische nach Honikel (1986), 24 h p. m. Entnahme einer Muskelscheibe des LD zwischen 13. und 14. Dornfortsatz der Brustwirbelsäule, 2,5 cm breit, 48 h bei 5 °C frei hängend in einem geschlossenem Gefäß gelagert	Waage MC1 Labatory LC6200, Sartorius, Göttingen
Grillverlust %	48 h	LD/SM Methode: gravimetrische Bestimmung, 1,5 cm breite Fleischscheibe, Grillprozess 160 °C, 3 min 11 s, Kerntemperatur 70 °C	Grill Silex S Typ 162, Silex Elektrogeräte GmbH, Hamburg, Waage s. o.

p. m. = post mortem, mS = milli Siemens, SM = M. semimembranosus, LD = M. longissimus dorsi

[a]Messstelle laut Allgemeiner Verwaltungsvorschrift Lebensmittelhygiene (2009)

Ergebnisse und Diskussion

Tierschutzrelevante Paramter

Die Ergebnisse der Verhaltensbeobachtung und Exzitationsbewertung sind in Abb. 2 dargestellt. In einer Helium-Atmosphäre zeigten die untersuchten Mastschweine kein Abwehrverhalten (Aversion) bei Gaskontakt. Nur gekennzeichnet durch vorausgehende schwankende Bewegungen verloren die Tiere ihr Stehvermögen und das Bewusstsein. Diese Beobachtungen wurden auch in Studien mit dem Gas Argon (RAJ, 1999, TROEGER *et al.*, 2003) beschrieben. Anders reagierte die Tiergruppe in CO_2: 45 % der Tiere drängten bei Gaskontakt zurück, 35 % äußerten Symptome der Atemnot mit Hyperventilation und 17,5 % zeigten Fluchtversuche zum Teil mit Lautäußerungen. Reagierten die Schweine mit Lautäußerungen in Form von Schreien, erhöhte sich die Grundlautstärke der CO_2-Anlage von 80,4 Dezibel (dB) auf 105,8 dB. Diese sehr lauten Schreie der Schweine lassen eine intensive psychische Belastung vermuten (DÜPJAN *et al.,* 2008) und könnten sowohl Angst wie auch Schmerzen ausdrücken (SCHÄFER, 2005). In der Helium-Atmosphäre verloren die Schweine nach im Mittel 20 s ihr Stehvermögen (Vergleich CO_2-Tiere 16 s). Die anschließende Phase von unkontrollierten Muskelkontraktionen, eingeteilt in Grade 0 - 3, ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tiergruppen.

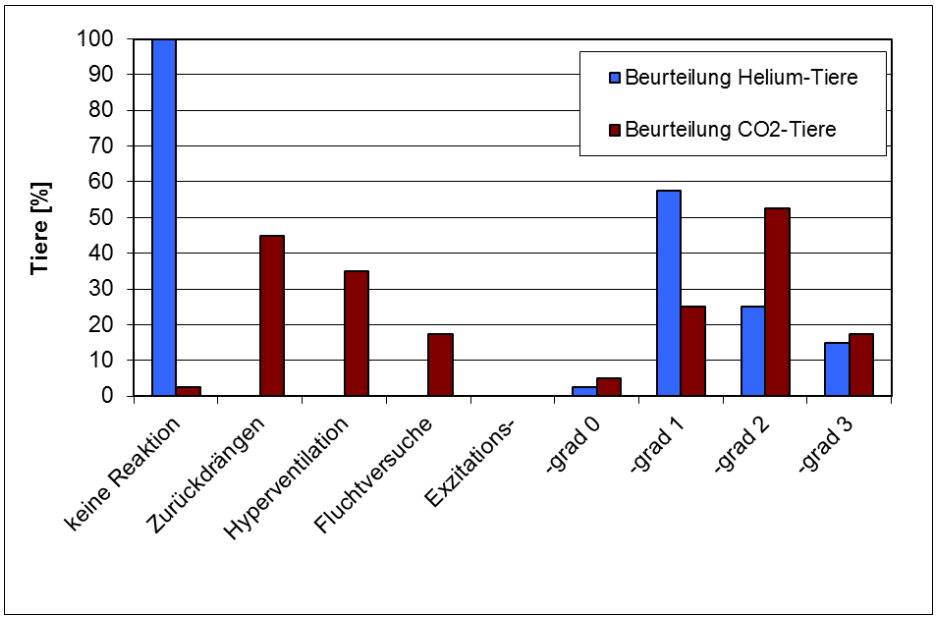

Abb. 2: Ergebnis der Verhaltensbeobachtungen während der Betäubung von Helium- (n = 40) und CO2-Tieren (n = 40) sowie Einteilung der Exzitationen (unkontrollierte Muskelkontraktionen) in Grad (0 – 3)

Die Ergebnisse der Katecholaminbestimmung sind in Abb. 3 aufgeführt. Die Konzentration von Noradrenalin im Stichblut der Helium-Tiere lag im Mittel bei 159.570 ± 11.055 pg/ml (CO_2-Tiere bei 393.200 ± 195.520 pg/ml), die an Adrenalin bei 75.580 ± 34.340 pg/ml (CO_2-Tiere 121.630 ± 42170 pg/ml). Beide Stresshormone lagen nach einer Helium-Betäubung in höchst signifikant geringerer Konzentration vor (Signifikanzniveau (p) < 0,001). Ursachen für die Ausschüttung der Katecholamine ins Stichblut waren sowohl der Zutrieb und die Bedingungen in der Gasatmosphäre, als auch endokrine Reaktionen auf die Entblutung. Aufgrund der Versuchsbedingungen und der großen Differenz der Mittelwerte beider Betäubungsgruppen, lässt das Ergebnis den Schluss zu, dass die CO_2-Atmosphäre eine stärkere endokrine Reaktion zur Folge hatte. Welchen Anteil die beobachteten Aversionen der Mastschweine an Ausschüttung der Katecholamine ins Stichblut hatten war

nicht differenzierbar. Die in der Versuchsreihe mit Helium gewählte Gasexpositionszeit von 180 s war ausreichend, um bei einem Auswurf-Entblute-Intervall von 15 - 30 s die Tiere in einem bis zum Tod durch Blutentzug anhaltenden Zustand der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit zu versetzen. Die Reflexprüfungen unmittelbar nach der Betäubung und während der Entblutung waren bei den untersuchten Helium-Tieren negativ.

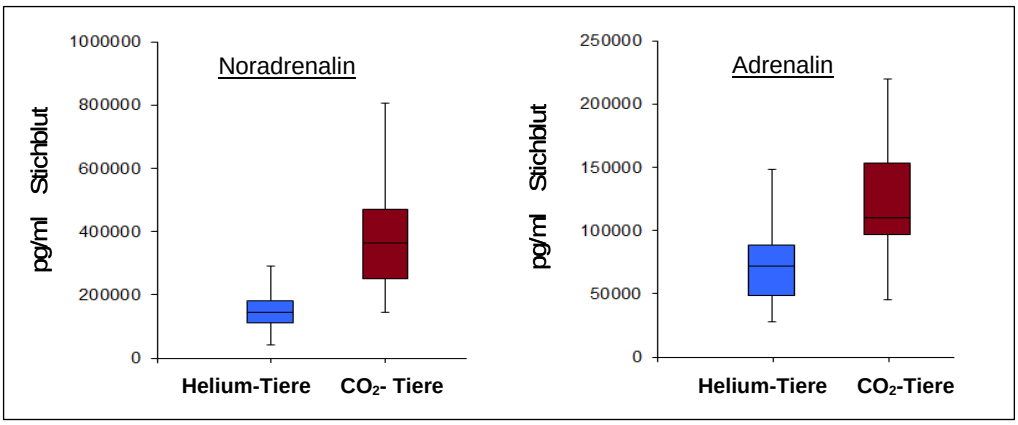

Abb. 3: Noradrenalin- und Adrenalinkonzentrationen in pg/ml im Stichblut der Helium- (n = 40) und CO_2-Tiere (n = 40)

Schlachtkörper- und Fleischqualitätsparameter

Die Daten der Klassifizierung sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Diese verdeutlichen die vergleichbare Genetik der Helium und CO_2-Tiergruppe. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Untersuchungen der Fleischqualitätsparameter als arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen dargestellt. Keine signifikanten Unterschiede der beiden Betäubungsarten wurden bezüglich der Parameter pH_1 (LD), pH_{ult} (SM/LD), LF_{24} (SM/LD), Grillverlust (SM/LD), Tropfsaftverlust und Farbhelligkeit (L^*-$Wert_{24}$) des LD nach 24 h ermittelt. Ein Einfluss des Betäubungsverfahrens war im hoch signifikanten Unterschied des pH_1-Wertes im SM festzustellen ($p < 0{,}01$). Der niedrigere pH_1 der CO_2-Tiere 6,4 ± 0,3 im Vergleich zu den Helium-Tieren 6,6 ± 0,2 lässt auf eine höhere Glykolyse-Rate, ausgelöst durch eine höhere Stressbelastung, schließen (HAMBRECHT *et al.,* 2004). Eine höhere Stoffwechselaktivität ist auch Ursache einer höheren Muskelkerntemperatur (D'SOUZA *et al.,* 1998). Nach 45 min wurden für die CO_2-Tiergruppe signifikant höhere Muskelkerntemperaturen T_{45min} von SM 40,5 ± 0,6 °C und LD 38,2 ± 1,4 °C im Vergleich zur Helium-Tiergruppe mit SM 39,6 ± 0,4 °C und LD 37,4 ± 1,2 °C ermittelt ($p < 0{,}001$ bzw. 0,01).

Für den Farbeindruck des Schweinefleisches werden L*-Wert (Fleischhelligkeit), a*-Wert (Rotanteil) und b*-Wert (Gelbanteil) beurteilt. Hier zeigten sich im Falle des SM der CO_2-Tiere nach 48 h p. m. hoch signifikante hellere Fleischscheiben L^*_{48} = 48,5 ± 2,5 (Helium-Tiere 46,9 ± 3,0, $p < 0{,}001$) mit einem geringeren Rotanteil a^*_{48} = 11,4 ± 1,6 (Helium-Tiere 13,0 ± 2,0, $p < 0{,}01$). Der Gelbanteil b^*_{48} der Proben unterschied sich mit einem Abstand der Mittelwerte von 0,6 Einheiten nicht relevant. Da die Fleischfarbe ein entscheidendes Verkaufskriterium darstellt (BREWER *et al.,* 1999), wäre durch weitere Untersuchungen zu prüfen, ob der Farbeindruck von Schweinefleisch durch eine Helium-Betäubung positiv beeinflusst würde.

Tab. 2: Klassifizierungsdaten der Schlachtkörper der Helium- und CO_2-Tiergruppe

	Helium-Tiere n = 40		CO_2-Tiere n = 40	
	x̄	sd	x̄	sd
Schlachtkörpergewicht (kg)	93,4	8,4	93,2	7,4
Speckmaß	13,5	3,4	14,0	3,2
Fleischmaß	64,2	6,5	64,4	6,3
Reflexionswert	46,8	7,6	47,8	9,1
Muskelfleischanteil (%)	60,0	3,3	59,6	3,0

x̄ = Mittelwert; sd = Standardabweichung

Tab. 3: Fleischqualitätsparameter nach einer Helium- oder CO_2-Betäubung

	Helium-Tiere n = 40		CO_2-Tiere n = 40		
	x̄	sd	x̄	sd	p
M. semimembranosus					
pH_1	6,6	0,2	6,4	0,3	**
pH_{ult}	5,5	0,2	5,6	0,2	ns
T_{45} (°C)	39,6	0,4	40,5	0,6	***
T_{24} (°C)	6,6	0,6	7,4	0,9	***
LF_{24} (*mS/cm)*	3,5	1,2	4,0	2,0	ns
Grillverlust (*%)*	25,5	4,2	25,9	4,0	ns
L^*_{24}	49,0	3,1	48,1	3,0	ns
a^*_{24}	9,8	1,7	9,1	1,5	***
b^*_{24}	5,4	1,2	4,5	1,4	**
L^*_{48}	46,9	3,0	48,5	2,5	**
a^*_{48}	13,0	2,0	11,4	1,6	***
b^*_{48}	5,7	1,1	5,1	1,1	*
M. longissimus dorsi					
pH_1	6,3	0,2	6,4	0,3	ns
pH_{ult}	5,4	0,1	5,5	0,1	ns
T_{45} (°C)	37,4	1,2	38,2	1,4	**
T_{24} (°C)	3,8	0,5	4,2	0,5	***
LF_{24} (*mS/cm)*	5,1	2,4	4,6	2,2	ns
Grillverlust (%)	27,0	3,4	27,0	4,2	ns
Tropfsaftverlust (%)	2,3	1,1	2,5	1,3	ns
L^*_{24}	50,3	2,8	50,4	3,4	ns
a^*_{24}	8,4	1,3	8,1	1,3	ns
b^*_{24}	4,4	0,9	4,0	1,4	ns

p. m. = post mortem: $_{45}$ = 45 min p. m., $_{24}$ = 24 h p. m., $_{48}$ = 48 h p. m.

x̄ = Mittelwert; sd = Standardabweichung; p = Signifikanzniveau: ns = nicht signifikant

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ und *** $p < 0,001$

pH-Werte ($pH_1$45 min p. m.; pH_{ult}: 24 h p. m.)

T_{45}, T_{24} = Muskelkerntemperatur

LF_{24} = elektrische Leitfähigkeit

L*: Helligkeitswert, a*: Rotwert, b*: Gelbwert

Nach der Zerlegung der Schlachttierkörper wurden bei einem CO_2-Tier geringfügig Blutpunkte an der Schnittfläche des Teilstücks Lachs (LD) gefunden. Anders als nach einer Betäubung mit dem Edelgas Argon (TROEGER *et al.,* 2003), traten bei keinem Mastschwein nach einer Helium-Betäubung Schlachtkörperschäden in Form von petechialen Blutungen auf.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der sensorischen Analysen der gegrillten Fleischscheiben von LD und SM zusammengefasst. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Betäubungsverfahren festgestellt, der sensorische Eindruck beider Gruppen war nahezu identisch.

Tab. 4: Auswertung der sensorischen Prüfung von Fleischproben nach einer Helium- oder CO_2-Betäubung (Note 1 = ungenügend bis Note 6 = sehr gut)

	Helium-Tiere n = 40		CO_2-Tiere n = 40		
	x̄	sd	x̄	sd	p
M. semimembranosus					
Aroma	4,1	0,8	4,2	0,6	ns
Saftigkeit	4,7	0,6	4,6	0,7	ns
Zartheit	4,4	0,8	4,5	0,8	ns
M. longissimus dorsi					
Aroma	4,0	0,6	3,9	0,6	ns
Saftigkeit	4,3	0,6	4,2	0,8	ns
Zartheit	4,1	0,8	4,0	0,9	ns

x̄ = Mittelwert; sd = Standardabweichung; p = Signifikanzniveau; ns = nicht signifikant

Schlussfolgerungen und Bedeutung für die Praxis

In der Studie wurden je 40 Mastschweine in einer kommerziell angewendeten CO_2-Atmosphäre sowie nach einer neuen Methode mit dem Edelgas Helium betäubt. Von beiden Tiergruppen wurden Parameter des Tierschutzes sowie der Schlachtkörper- und Fleischqualität untersucht. Als Tierschutzparameter wurden während der Betäubung Verhaltensbeobachtungen und Schallpegelmessungen von Lautäußerungen durchgeführt. Die Auswertung ergab deutlich aversives Verhalten in der kommerziell eingesetzten 90 Vol.-% CO_2-Atmosphäre. Diese äußerten sich in Form von Symptomen der Atemnot und Fluchtversuchen der Schweine. Lautäußerungen der CO_2-Tiere erreichten ein Maximum von 105,8 dB. Die höchst signifikant höhere Konzentration von Katecholaminen (Adrenalin und Noradrenalin) im Stichblut der CO_2-Tiere im Vergleich zur Helium-Tiergruppe lassen ebenfalls höhere Belastungen vermuten. Die Untersuchung konnte zeigen, dass der Einsatz von Helium in einer Konzentration von > 95 Vol.-% eine tierschonendere Alternative, ohne aversives Verhalten, darstellte. Bei den Parametern der Fleischqualität zeigten sich graduelle Vorteile der Helium-Betäubung. Die Helium-Tiere hatten nach 45 min p. m. einen höheren pH-Wert und niedrigere Muskelkerntemperaturen in den untersuchten Muskelanteilen. Der Farbeindruck des Teilstück Oberschale (48 h p. m.) war weniger blass und hatte einen höheren Rotanteil. Ein Betäubungsverfahren mit Helium könnte, neben einer Verbesserung des Tierschutzes, auch die Fleischbeschaffenheit positiv beeinflussen und der Ausbildung von Qualitätsmängeln bei Schweine-

fleisch in Form von PSE (Pale, Soft, Exudativ) entgegen wirken. Schlachtkörperqualitätsmängel in Form von Blutpunkten wie beim Einsatz des Edelgases Argon traten bei den mit Helium betäubten Mastschweinen nicht auf.

Ziel weiterer Arbeiten sollte es sein, eine Helium-Betäubungsanlage im industriellen Maßstab zu bauen und zu testen. Zu prüfen wäre auch der Einsatz von Stickstoff in Mischungen mit Helium, um ökonomischen Anforderungen für den zukünftigen Einsatz möglicherweise besser zu entsprechen. Denn eine Fortführung der Praxis der CO_2-Betäubung wäre bei Vorhandensein einer praxistauglichen Alternative aus Sicht des Tierschutzes abzulehnen.

Dank

Die Autoren danken der Tönnies Forschung, gemeinnützige Gesellschaft zur Förderung der Forschung über die Zukunft des Tierschutzes in der Nutztierhaltung mbH für die finanzielle Unterstützung des Projektes.
Zudem bedanken sie sich bei dem städtischen Schlachthof Kulmbach sowie dem Fleischgroßhandels-Unternehmen Emil Färber GmbH & Co. KG Kulmbach für die allzeit kooperative Zusammenarbeit.

Literatur

Atkinson, S., Velarde, A., Llonch, P. and Algers, B. (2012): Assessing pig welfare at stunning in Swedish commercial abattoirs using CO2 group-stun methods. Animal Welfare, 21 (4), p. 487-495

Brewer, S. S. and McKeith, F. K. (1999): Consumer-rated Quality Characteristics as Related to Purchase Intent of Fresh Pork. Journal of Food Science, 64 (1), p. 171-174

Cantieni, J. (1977): Ein Beitrag zur CO_2-Betäubung von Schlachtschweinen. Schweizer Arch. Tierheilk., 199, p. 355-375

Channon, H. A., Payne, A. M. and Warner, R. D. (2002): Comparison of CO2 stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality. Meat Science, 60 (1), p. 63-68

D'Souza, D. N., Dunshea, F. R., Warner, R. D. and Leury, B. J. (1998): The Effect Of Handling Pre-Slaughter And Carcass Processing Rate Post-Slaughter On Pork Quality. Meat Science, 50 (4), p. 429-437

Dalmau, A., Llonch, P., Rodriguez, P., Ruiz-de-la-Torre, J. L., Manteca, X. and Velarde, A. (2010a): Stunning pigs with different gas misture: gas stability. Animal Welfare, 19 (3), p. 315-323

Dalmau, A., Rodriguez, P., Llonch, P. and Velarde, A. (2010b): Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs. Animal Welfare, 19 (3), p. 325-333

Düpjan, S., Schön, P. C., Puppe, B., Tuchscherer, A. and Manteuffel, G. (2008): Differential vocal responses to physical and mental stressors in domestic pigs (Sus scrofa). Applied Animal Behaviour Science, 114 (1-2), p. 105-115

EFSA (2004): Welfare aspects of animal stunning and killing method. European Food Savety Authority, Scientific report of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of animal stunning and killing methods AHAW/04-027

Eisele, J. H., Eger, E. I. and Muallem, M. (1967): Narcotic Properties of Carbon Dioxide In Dog. Anesthesiology, 28 (5), p. 856-860

Erhardt, W., Ring, C., Kraft, H., Schmid, A., Weinmann, H. M., Ebert, R., Schlager, B., Schindele, M., Heinze, R., Lomholt, N., Kallweit, E., Henning, M., Unshelm, J., Berner, H. and Blumel, G. (1989): CO2-Stunning Of Slaughter Pigs From The Anesthesiological View. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 96 (3), S. 92-98

Grassberger, M. and Krauskopf, A. (2007): Suicidal asphyxiation with helium: Report of three cases. Wiener Klinische Wochenschrift, 119 (9), S. 323-325

Hambrecht, E., Eissen, J. J., Nooijen, R. I. J., Ducro, B. J., Smits, C. H. M., den Hartog, L. A. and Verstegen, M. W. A. (2004): Preslaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants. Journal of Animal Science, 82 (5), p. 1401-1409

Hartung, J., Nowak, B., Waldmann, K. H. and Ellerbrock, S. (2002): CO2 stunning of slaughter pigs: Effects on EEG, catecholamines and clinical reflexes. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 109 (3), S. 135-139

Llonch, P., Rodriguez, P., Gispert, M., Dalmau, A., Manteca, X. and Velarde, A. (2012): Stunning pigs with nitrose and carbon dioxide misture: effects on animal welfare and meat quality. Animal, 6 (4), p. 668-675

Machold, U., Troeger, K. and Moje, M. (2003): Gasbetäubung von Schweinen – Ein Vergleich von Kohlendioxid, Argon, einer Stickstoff-Argon-Mischung und Argon/Kohlendioxid (2-stufig) unter Tierschutzaspekten. Fleischwirtschaft, 83 (10), S. 109-114

Martoft, L., Lomholt, L., Kolthoff, C., Rodriguez, B. E., Jensen, E. W., Jorgensen, P. F., Pedersen, H. D. and Forslid, A. (2002): Effects of CO2 anaesthe-

sia on central nervous system activity in swine. Laboratory Animals, 36 (2), p. 115-126

Nattie, E. (1999): CO2, brainstem chemoreceptors and breathing. Progress in Neurobiology, 59 (4), p. 299-331

Nowak, B., Mueffling, T. V. and Hartung, J. (2007): Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: Impact on animal welfare and meat quality. Meat Science, 75 (2), p. 290-298

Passantino, A. (2009): Welfare of animals at slaughter and killing: a new regulation on the protection of animals at the time of killing. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 4 (3), S. 273-285

Raj, A. B. M. (1999): Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: welfare implications. Veterinary Record, 144 (7), p. 165-168

Raj, A. B. M. and Gregory, N. G. (1990): Effect of rate of induction of carbone-dioxide anesthesia on the time of onset of unconsciousness and convulsions. Research in Veterinary Science, 49 (3), p. 360-363

Raj, A. B. M. and Gregory, N. G. (1995): Welfare implications of the gas stunning of pigs. 1. Determination of aversion to the initial inhalation of car-bon dioxide or argon. Animal Welfare, 4 (4), p. 273-280

Raj, A. B. M., Johnson, S. P., Wotton, S. B. and McInstry, J. L. (1997): Welfare implications of gas stunning pigs. 3. The time to loss of somatosensory evoked potentials and spontaneous electrocorticogram of pigs during exposure to gases. Veterinary Journal, 153 (3), p. 329-339

Schäffer, D. v. B., E. (2005): Vokalisation von Schlachtschweinen. Ein Indikator für die Bewertung der Tiergerechtheit des Handlings an Betäubungsanlagen. Fleischwirtschaft, 9, S. 37- 44

Troeger, K., Machold, U. and Moje, M. (2003): Betäubung von Schweinen mit Kohlendioxid, Argon, Stickstoff-Argon-Gemisch oder Argon/Kohlendioxid (2-stufig) – Schlachtkörper- und Fleischqualität. Proc. 2. Schlachttechnologie-Workshop am 8. Mai 2003 in der BAFF, Kulmbach (S. 27 bis 40)

Velarde, A., Cruz, J., Gispert, M., Carrion, D., de la Torre, J. L. R., Diestre, A. and Manteca, X. (2007): Aversion to carbon dioxide stunning in pigs: effect of carbon dioxide concentration and halothane genotype. Animal Welfare, 16 (4), p. 513-522

Velarde, A., Gispert, M., Faucitano, L., Manteca, X. and Diestre, A. (2000): The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. Meat Science, 55 (3), p. 309-314

Arbeitsunterlagen DLG (1985): DLG Schnittführung für die Zerlegung der Schlachtkörper von Rind, Kalb, Schwein und Schaf, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft DLG-Verlag

AVV Lebensmittelhygiene (2009): Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis vom 9. November 2009

Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung vom 24. September 2009

Tierschutz-Schlachtverordnung (2012): Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 20. Dezember 2012