

The contents are protected by copyright. The distribution by unauthorized third parties is prohibited.

Arch Lebensmittelhyg 74,  
32–39 (2023)  
DOI 10.53194/0003-925X-74-32

© M. & H. Schaper GmbH & Co.  
ISSN 0003-925X

Korrespondenzadresse:  
Frederik.Loewenstein@lsz.bwl.de

## Zusammenfassung

## Summary

- <sup>1)</sup> Schweinegesundheitsdienst Baden-Württemberg, Fellbach, Deutschland;  
<sup>2)</sup> Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Stuttgart, Fellbach, Deutschland;  
<sup>3)</sup> Bildungs- und Wissenszentrum (LSZ) Boxberg, Boxberg-Windischbuch, Deutschland

# Auswirkungen einer hochkonzentrierten CO<sub>2</sub>-Betäubung auf Schlachtlungen bei Mastschweinen: Auftreten von Blutaspiration und Lungenblutungen

*Effects of high-concentrated CO<sub>2</sub>-stunning on slaughter lungs in fattening pigs: Incidence of blood aspiration and pulmonary hemorrhages*

Tanja Frey<sup>1)</sup>, Katharina Schwalm-Wunsch<sup>2)</sup>, Maximiliane Kaschny<sup>1)</sup>, Agnes Richter<sup>1)</sup>, Katrin Danowski<sup>3)</sup>, Frederik Löwenstein<sup>3)</sup>

Die Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)-Betäubung bei der Schlachtung von Schweinen ist ein weit verbreitetes Verfahren in der Europäischen Union. Häufig kommen hohe Konzentrationen (≥ 90 %) für einen schnellen Betäubungserfolg zum Einsatz. Infolge von Fehlbetäubungen kann es dennoch zu Blutaspirationen bei der Entblutung kommen, die zur amtlichen Beanstandung und Verwurf der Lunge führen. Eine einheitliche Beurteilungsgrundlage von Blutaspirationen bei der amtlichen Fleischuntersuchung existiert nicht.

In einem Schlachtbetrieb in Baden-Württemberg, Deutschland, wurden im Jahr 2020 über einen fünfmonatigen Zeitraum 5–10 % der Lungen pro Schlachttag wegen Blutaspiration amtlich beanstandet. Die Betäubung wurde mit einer Dip-Lift CO<sub>2</sub>-Anlage (Banss, Österreich) bei einer durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Konzentration von 93 % über 140 Sekunden durchgeführt. Zur Ermittlung der Ursachen wurden alle Schweine eines Schlachttag (n = 89) klinisch untersucht. Der Gesundheitsstatus wurde mittels Rektaltemperatur-Messung, Hustenindex und Schlachtlungencheck nach Madec und Kobisch (1982) erhoben. Betäubungserfolg und schlachttechnische Einflüsse wurden anhand der Parameter Epistaxis, Corneareflex, Atembewegungen, Vokalisation, Exzitationen und Nachbetäubung erfasst. Für pathologische und mikrobiologische Untersuchungen wurden Köpfe (n = 5) und Lungen (n = 13) von Tieren mit beanstandeter Blutaspiration entnommen.

Klinisch waren die Tiere unauffällig. Epistaxis (2,67 %), Atembewegungen mit notwendiger Nachbetäubung (5,34 %) und Exzitationen (0,89 %) wurden bei Einzeltieren beobachtet. Corneareflexe und Vokalisation waren nicht vorhanden. Beim Schlachtlungencheck konnten mit Gesamtscores ≥ 5 bei 0,89 % und ≥ 10 bei 1,78 % der Lungen keine makroskopischen Anzeichen für ein zugrundeliegendes Infektionsgeschehen festgestellt werden. Am Untersuchungstag wurden 14,61 % der Lungen wegen Blutaspiration amtlich beanstandet. Pathomorphologisch wiesen Köpfe und Tracheen beanstandeter Lungen keine schlachttechnisch-bedingten Verletzungen auf. Haupt- und Spitzenlappen der Lungen zeigten punktförmige bis großflächige Blutungen in unterschiedlicher Ausprägung. Pathohistologisch wurden perivaskuläre und peribronchioläre Blutungen sowie fokale Blutansammlungen in den Bronchien mit wahrscheinlichem Übertritt in das Alveolarlumen beobachtet.

Als wahrscheinliche Ursache der Lungenblutungen kann hier der stressbedingte Anstieg des Blutdrucks während der CO<sub>2</sub>-Betäubung mit einer hohen CO<sub>2</sub>-Konzentration vermutet werden.

**Schlüsselwörter:** CO<sub>2</sub>-Betäubung, Schlachtung, Schweine, Blutaspiration, Lungenblutung

CO<sub>2</sub>-stunning for pig slaughter is a widely used method in the European Union. High concentrations (≥ 90 %) are often used for rapid stunning success. As a result of incorrect stunning, nevertheless blood aspiration can occur during bleeding, leading to official objection and discarding of the lungs. There is no uniform basis for assessing blood aspirations during meat inspection.

In a slaughterhouse in Baden-Wuerttemberg, Germany, 5–10 % of lungs per slaughter day were officially rejected for blood aspiration over a five-month period in 2020. Stunning was performed with a dip-lift CO<sub>2</sub>-system (Banss, Austria) at an average CO<sub>2</sub>-concentration of 93 % for 140 seconds. To determine the causes, 89 pigs were examined on one slaughter day. Health status was assessed by rectal temperature measurement, cough index, and slaughter check following Madec and Kobisch (1982). Stunning success and slaughter influences were examined using the parameters of epistaxis, corneal reflex, respiratory movements, vocalization, excitations and post-stunning. For pathological and microbiological examinations, heads (n = 5) and lungs (n = 13) were collected from animals, that were rejected due to blood aspiration.

*The contents are protected by copyright. The distribution by unauthorized third parties is prohibited.*

Clinically, the animals were unremarkable. Epistaxis (2.67 %), respiratory movements requiring post-stunning (5.34 %), and excitations (0.89 %) were observed in individual animals. Corneal reflexes and vocalization were absent. Slaughter lung check revealed no evidence of an underlying infectious event with total scores  $\geq 5$  in 0.89 % and  $\geq 10$  in 1.78 % of lungs. On the day of examination, 14.61 % of lungs were officially condemned because of blood aspiration. Pathomorphologically, heads and tracheae of rejected lungs showed no slaughter-related injuries. Main and tip lobes of the lungs showed petechial to extensive hemorrhages of varying severity. Pathohistologically, perivascular and peribronchiolar hemorrhages and focal blood pooling in the bronchi with probable spillover into the alveolar lumen were observed.

The probable cause of pulmonary haemorrhage in this case was the stress-induced increase in blood pressure during CO<sub>2</sub>-stunning with a high CO<sub>2</sub>-concentration.

**Keywords:** CO<sub>2</sub>-stunning, slaughter, pigs, blood aspiration, pulmonary haemorrhage

## Einleitung

Die Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>)-Betäubung ist neben der Elektrobetäubung nach der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 als Betäubungsverfahren für die Schlachtung von Schweinen in der Europäischen Union (EU) zugelassen. Die CO<sub>2</sub>-Betäubung ist in Schlachthöfen weit verbreitet. Das Verfahren wird aufgrund einer besseren Schlachtkörper- und Fleischqualität der Elektrobetäubung vorgezogen (Velarde et al., 2000 und 2001; Channon et al., 2002). In der praktischen Anwendung kommen Dip-Lift- und Paternoster-Systeme zum Einsatz, um die Schweine in eine konzentrierte CO<sub>2</sub>-Atmosphäre von mindestens 80 % zu verbringen (EFSA, 2004). CO<sub>2</sub> hat beim Schwein eine anästhesierende Wirkung und erzeugt eine tiefe Bewusstlosigkeit (Forslid, 1987; Martoft et al., 2002). Bei Inhalation hoher Konzentrationen kommt es zu einer hyperkapnischen Hypoxie (Dodman, 1977). Auf den Schleimhäuten des Respirationstraktes kommt es unter der Reaktion mit Wasser zur Bildung von Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Die Folge ist eine erhöhte Konzentration von H<sup>+</sup>-Ionen, die zu einer Azidose auf Zellebene führen (Mota-Rojas et al., 2012). Es entsteht eine respiratorische Azidose, die zu einer Absenkung des Blut- und zerebrospinalen pH-Wertes führt (Martoft et al., 2003; Hartmann et al., 2010). Eine höhere CO<sub>2</sub>-Konzentration steigert diesen Effekt und führt zu einer schnelleren Betäubung der Tiere (Verhoeven et al., 2016). Dennoch kann es zu Fehlbetäubungen mit unzureichender Bewusstseinsausschaltung kommen. Von Wenzlawowicz et al. (2012) konnten in 53 verschiedenen CO<sub>2</sub>-Betäubungsanlagen bei 7,5 % ( $\pm 13,0$  %) der Schweine Fehlbetäubungen feststellen. Als Ursachen für Fehlbetäubungen mit CO<sub>2</sub> werden zu kurze Betäubungszeiten und zu niedrige Gaskonzentrationen beschrieben (Atkinson et al., 2012). Bei einer unzureichenden Betäubung können reflektorische Atembewegungen nach Auswurf aus der Gondel, beim Anschlingen und beim Anstechen vorkommen (EFSA, 2013 und 2020). Die Aspiration von Blut in Trachea und Bronchien kann infolge von Atembewegungen auftreten (Gregory et al., 2009; Agbeniga und Webb, 2012). Äußerlich sind in einem solchen Fall an der gesamten Schlachtlunge punktförmige bis großflächige, rote bis dunkelviolette Areale zu erkennen. Nach Anschnitt der Trachea fließt schaumige, rote Flüssigkeit ab (Vallant, 2013). Der Schweregrad der Blutaspiration kann anhand des Blutaustritts im Gewebeanschnitt der Lungenhauptlappen als gering- bis hochgradig eingestuft werden (Semenova et al., 2020). Neben der Tierschutzrelevanz (Grandin, 2010), ist die Blutaspiration ein Beanstandungskriterium bei der

amtlichen Beurteilung der Lunge und führt zum Verwurf des kompletten Organs (Kale et al., 2011; Fruet et al., 2013). Einflüsse der Schlachttechnik auf das Vorkommen von Blutaspiration, wie Verletzungen der Trachea beim Anstechen sowie weitere Einflüsse der Schlachttechnik sind beschrieben (Doležová et al., 2021). Schleicher et al. (2013) geben Prävalenzen von 1,2–41,5 % für Blutaspiration bei Schweinen an. In der Studie wird darauf hingewiesen, dass es keine einheitliche Beurteilungsgrundlage zur Feststellung einer Blutaspiration gibt und das Vorkommen stark vom amtlichen Untersuchungspersonal abhängig war (Schleicher et al., 2013).

In einem EU-zugelassenen Schlachtbetrieb in Baden-Württemberg wurden in einem Zeitraum von Januar bis Mai 2020 regelmäßig 5–10 % der Lungen pro Schlachttag wegen Blutaspiration amtlich beanstandet und als untauglich verworfen. Im Anschnitt konnten mittel- bis hochgradige Blutaustritte aus den betroffenen Lungen beobachtet werden. Die Tiere wurden mit einer Dip-Lift CO<sub>2</sub>-Anlage betäubt und hängend entblutet. Zur Abklärung der Ursache wurde der Betäubungs- und Entblutungsprozess überwacht sowie der Tiergesundheitsstatus bei der Schlachtieruntersuchung sowie an Schlachtlungen und -körpern erhoben.

## Materialien und Methoden

### Materialien

Die Untersuchungen wurden in einem EU-zugelassenen Schlachtbetrieb in Baden-Württemberg, Deutschland, während der regulären Schlachtung durchgeführt. Insgesamt wurden 89 Mastschweine in die Untersuchungen einbezogen. Im Wartestall des Schlachtbetriebes wurden die Tiere der amtlichen Schlachtieruntersuchung und einer klinischen Untersuchung unterzogen. Zur Betäubung der Tiere wurde eine Dip-Lift CO<sub>2</sub>-Anlage Typ 74-200 (Banss GmbH, Österreich) verwendet. Für eine schnelle und tierschutzgerechte Betäubung wurde mit einer CO<sub>2</sub>-Konzentration zwischen 90–95 % über 140 Sekunden gearbeitet. Je zwei Mastschweine wurden gleichzeitig in die Gondel der CO<sub>2</sub>-Anlage für die Dauer eines Betäubungszyklus eingetrieben. Das Entbluten und Brühen erfolgten in kopfüber hängender Position.

### Methoden

Zur Erhebung klinischer Parameter wurde aus eine Stichprobe von 25 Tieren die Rektaltemperatur mit einem Digitalthermometer (VT1831, Microlife AG, Schweiz) ermit-

*The contents are protected by copyright. The distribution by unauthorized third parties is prohibited.*

telt. Für die gesamte Tiergruppe wurde der Hustenindex nach Bahnsen (1993) modifiziert nach Nathues et al. (2012) erfasst. Der Betäubungserfolg und mögliche Verletzungen durch die Schlachttechnik wurden nach Auswurf aus der Gondel kontrolliert. Dabei wurde das Auftreten von Epistaxis nach Auswurf aus der Betäubungsgondel, das Vorhandensein des Corneareflexes, von Atembewegungen, Vokalisation und Exzitation sowie die Notwendigkeit einer Nachbetäubung erfasst. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Betäubungsanlage wurde während jedes Betäubungszyklus dokumentiert. Im Falle einer notwendigen Nachbetäubung wurde ein Bolzenschussapparat Typ VSG-9 (Dick GmbH, Deutschland) verwendet. Eine Erhebung klinischer Läsionen an den Lungen wurde mittels des Schlachtlungencheck nach Madec und Kobisch (1982) und nach dem Slaughterhouse Pleuritis Evaluation System (SPES) nach Dottori et al. (2007) durchgeführt.

Für weiterführende Untersuchungen wurden von 5 Schlachtkörpern Köpfe sowie von 13 Schlachtkörpern Lungen und Geschlinge entnommen. Als Auswahlkriterium wurde das Vorliegen von amtlich beanstandeter Blutaspiration vorausgesetzt. Entnommene Köpfe, Geschlinge und Lungen wurden in der Veterinär-Pathologie des Chemischen und Veterinäruntersuchungsamtes (CVUA) Stuttgart pathomorphologisch und pathohistologisch untersucht. Organproben wurden mit dem ASP300S (Leica GmbH, Deutschland) entwässert und mit der HistoCore Acardia C Ausgießstation (Leica GmbH, Deutschland) vorbereitet. Histologische Schnitte wurden mit dem HistoCore Autocut Mikrotom (Leica GmbH, Deutschland) angefertigt. Eine Hämatoxylin-Eosin-(HE)-Färbung der Gewebeschnitte erfolgte über den Autostainer XL (Leica GmbH, Deutschland) Färbeautomat mit integrierter CV5030 Eindeckstation (Leica GmbH, Deutschland). Anschließend wurden die Schnittpräparate mikroskopisch untersucht. Die Organproben der Lungen wurden in der Mikrobiologie des CVUA Stuttgart kulturell auf bakterielles Wachstum und molekularbiologisch mittels einer Realtime-PCR (SensiFASTTM Probe No-Rox Kit, Bioline, USA) auf *Actinobacillus pleuropneumoniae* (APP) und *Mycoplasma hyopneumoniae* (*M. hyopneumoniae*) untersucht.

Die Erhebung und deskriptive statistische Auswertung der klinischen Daten wurden mit dem Statistikprogramm Microsoft Excel 2016 MSO 32-bit (Microsoft Corporation, USA) durchgeführt.

## Ergebnisse

Innerhalb eines Zeitraums von fünf Monaten wurden n = 2.158 Mastschweine geschlachtet und amtlich untersucht. Wöchentlich wurde eine Schlachtleistung von 102 ± 20 Hybridschweinen unterschiedlicher Herkünfte erreicht. Während der amtlichen Untersuchung wurden an 21 Schlachttagen bei 4,04–14,61 % der Tiere Blutaspirationen beanstandet. Über den gesamten Zeitraum waren 169 Tiere mit Blutaspiration auffällig. Dies entsprach einer mittleren Prävalenz von 7,80 ± 2,70 %.

### Klinische Untersuchungen der Schlachttiere und Schlachtlungen

Die Schlachttiergewichte der einbezogenen Mastschweine (n = 89) betragen im Mittel 115,60 ± 5,51 kg. Im Rahmen der stichprobenartigen klinischen Untersuchung wurden Rektaltemperaturen von 38,72 ± 0,12 °C (Referenzwert: 38,80 °C) bei 25 Mastschweinen erhoben. Ein Hustenindex

**TABELLE 1:** Prävalenzen der untersuchten Parameter des Betäubungserfolges und auftretender Lungenläsionen sowie die Mittelwerte der erhobenen Lungenscores beim Schlachtlungencheck nach Madec und Kobisch (1982) gegliedert nach Lokalisation (Referenz: Score ≥ 5 = beginnende Lungenproblematik, Score ≥ 10 = hochgradige Pneumonie) von n = 89 Schweinen.

	Prävalenz (%)	Score
<b>Betäubungsparameter</b>		
– Epistaxis	2,67	–
– Corneareflex	0,0	–
– Atembewegungen	5,34	–
– Vokalisation	0,0	–
– Exzitation	0,89	–
– Nachbetäubung	5,34	–
<b>Schlachtlungencheck</b>		
– Rechter Spitzenlappen	8,01	0,12
– Rechter Mittellappen	10,68	0,20
– Rechter Caudallappen	8,01	0,12
– Akzessorischer Lappen	9,79	0,13
– Linker Spitzenlappen	4,45	0,09
– Linker Mittellappen	5,34	0,08
– Linker Kaudallappen	1,78	0,03
– Ganze Lunge	26,7	0,79

von 3,56 % konnte in der Tiergruppe (n = 89 Tiere) festgestellt werden. Die angelieferten Mastschweine wurden nach amtlicher Schlachtieruntersuchung für schlachtfähig erklärt. Während der Betäubungszyklen wurde eine mittlere CO<sub>2</sub>-Konzentration von 93,22 ± 1,07 % eingehalten. Bei der Überprüfung des Betäubungserfolges (Tab. 1) wurde bei 2,67 % der Mastschweine Epistaxis bei Austritt aus der Betäubungsgondel festgestellt. Atembewegungen konnten bei 5,34 % der Tiere beobachtet werden. Hier wurde tierschutzgerecht eine Nachbetäubung mittels eines Bolzenschussapparates durchgeführt. Exzitationen konnten bei 0,89 % der Tiere beobachtet werden. Corneareflexe und Vokalisation konnten bei keinem der Tiere festgestellt werden (Tab. 1).

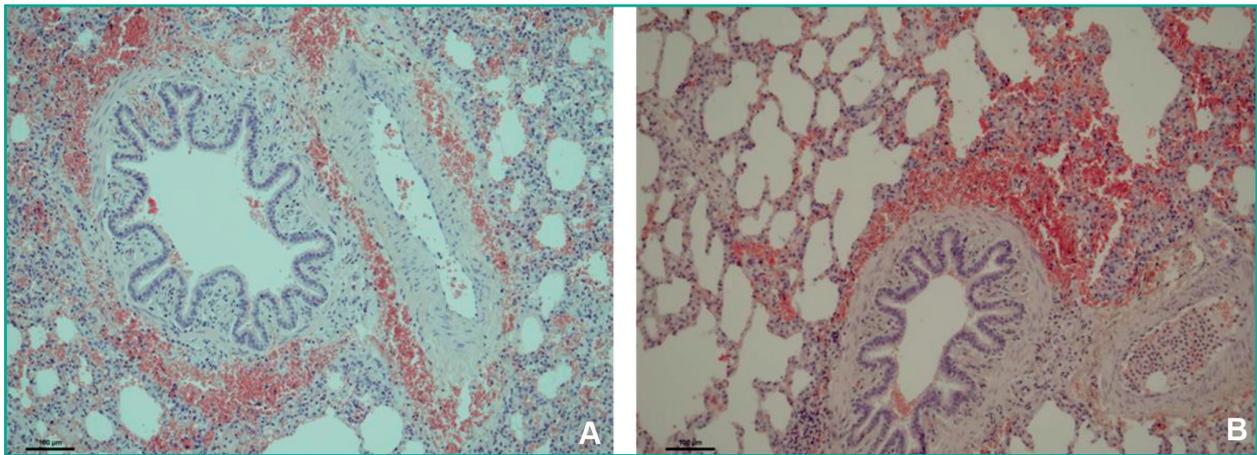
Mittels des durchgeführten Schlachtlungenchecks (n = 89 Lungen) konnten bei 26,7 % der Lungen morphologische Läsionen festgestellt werden. Bei 0,89 % der untersuchten Lungen wurde ein Gesamtscore ≥ 5 Gesamtpunkte und bei 1,78 % ein Gesamtscore ≥ 10 Gesamtpunkte ermittelt. Die Mittelwerte der einzelnen Lungenlappen-Scores bewegten sich zwischen 0,03–0,20 (Tab. 1). Für die Lungen der Schlachtpartie konnte im Rahmen des Schlachtlungenchecks ein mittlerer Gesamtscore von 0,79 ermittelt werden. Die Erhebung des SPES nach Dottori et al. (2007) ergab für 1,78 % der Lungen einen SPES-Score von 1 (cranio-ventrale Läsionen: Pleuraverwachsungen zwischen Lungenlappen oder ventralen Abschnitten) und für 4,45 % einen SPES-Score von 3 (beidseitige fokale Läsionen oder einseitige Läsion an mindestens 1/3 des Zwerchfelllappens).

### Pathologische Untersuchungen der Köpfe

Im Rahmen des Schlachtprozesses wurden fünf Köpfe auf der Sagittalebene in zwei Hälften geteilt.

Pathomorphologisch konnten bei allen Köpfen blasse Maulschleimhäute und fehlende Augen festgestellt werden, die im Rahmen des Schlachtprozesses entfernt wurden. Die Zähne waren ohne besonderen Befund. An den Conchen von drei Köpfen waren rostral diffuse Rötungen und proximal blasse Verfärbungen sichtbar. Die Nasenschleimhäute waren bei drei der untersuchten Köpfe geringgradig hyperämisch. Eine Füllung mit klarem bis trübem, fadenziehendem Schleim konnte an der Nasen-

The contents are protected by copyright. The distribution by unauthorized third parties is prohibited.



**ABBILDUNG 1:** (A) Bronchus und arterielles Blutgefäß mit peribronchialen und perivaskulären Blutungen. (B) Bronchus mit peribronchialen Blutungen. (Lunge Schwein, HE-Färbung, 100-fache Vergrößerung).

schleimhaut und in den Nasennebenhöhlen von zwei Köpfen beobachtet werden.

Die pathohistologische Untersuchung ergab eine mittelgradige multifokale lymphoplasmazelluläre und folliculäre Rhinitis mit Entzündungszellinfiltraten im Drüsengewebe sowie eine hochgradige Hyperämie. Hinweise auf Verletzungen mit einhergehenden Blutungen wurden weder pathomorphologisch noch pathohistologisch nachgewiesen.

#### Pathologische Untersuchungen der Schlachtlungen

Alle 13 untersuchten Lungen wiesen punktförmige bis großflächige Blutungen in unterschiedlich starker Ausprägung in den Haupt- und Spitzenlappen auf. Im Anschnitt konnte interstitielle rötliche Ödemflüssigkeit im Lungenparenchym bei 13 Lungen festgestellt werden. Drei Lungen zeigten das Bild einer Spitzenlappenpneumonie mit konsolidiertem Parenchym. Die Tracheen waren in den proximalen Abschnitten mit rotem Ödemschaum belegt. Im distalen Bereich und in den Bronchien konnte geronnenes Blut festgestellt werden. Verletzungen der Tracheen auf Höhe der Einstichstelle zur Entblutung waren nicht nachweisbar. In den pathologischen Untersuchungen konnten an den Lungen keine Hinweise auf eine schlachttechnisch-bedingte Blutaspiration durch Verletzung der Trachea festgestellt werden.

Pathohistologisch konnten mittel- bis hochgradige perivaskuläre und peribronchiale Blutungen nachgewiesen werden (Abb. 1A und B). Diese gingen fokal mit Blutansammlung in den Bronchien einher (Abb. 2A und B).

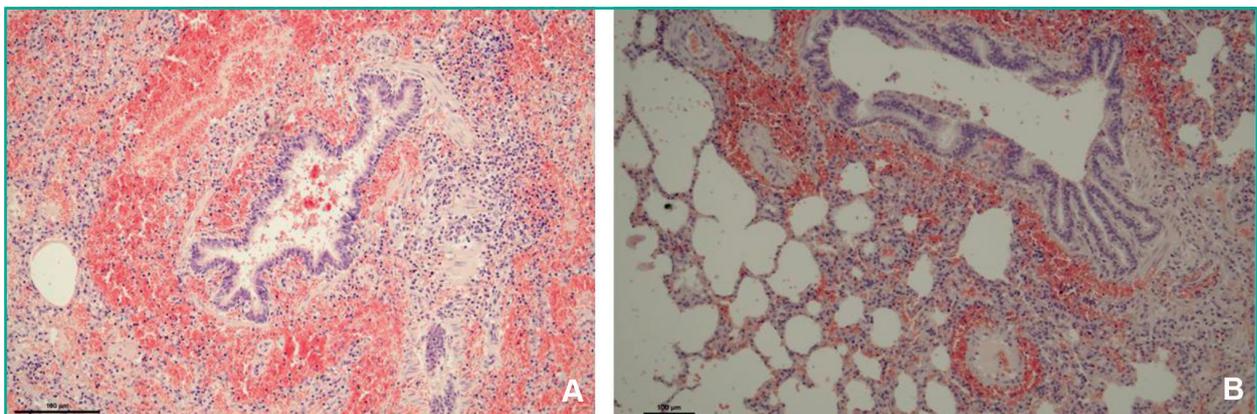
Zusätzlich traten Blutungen subpleural und interstitiell auf (Abb. 3A–C). Bei zwei Lungen fielen hochgradige interstitielle Ödeme sowie ein multifokales alveoläres Emphysem auf. Lokalisiert konnten Fibrinkondensationen, geringgradige Hypertrophie der Alveolarmyozyten und Atelektasen bei zwei Lungen beschrieben werden. Diese Lungen wiesen eine mittelgradige chronische interstitielle Pneumonie und Septennekrosen in Arealen mit alveolären mononukleären Infiltraten und Fibrin auf.

Bei der mikrobiologischen Untersuchung der Organproben wurde bei drei Lungen *Pasteurella multocida* (*P. multocida*) in gering- bis hochgradigem Wachstum isoliert. Weitere pathogene Keime wurden nicht isoliert. Mit Hilfe einer Realtime-PCR konnten Gensequenzen von *M. hyopneumoniae* mit einem Ct-Wert von 23,05 amplifiziert werden (Ct-Wert-Referenz: < 25 hochgradig positiv; ≥ 25 bis 30 mittelgradig positiv; ≥ 30 bis 38 geringgradig positiv; ≥ 38 bis 42 fragliches Ergebnis; > 42 negativ). Gensequenzen von APP wurden nicht detektiert.

#### Diskussion

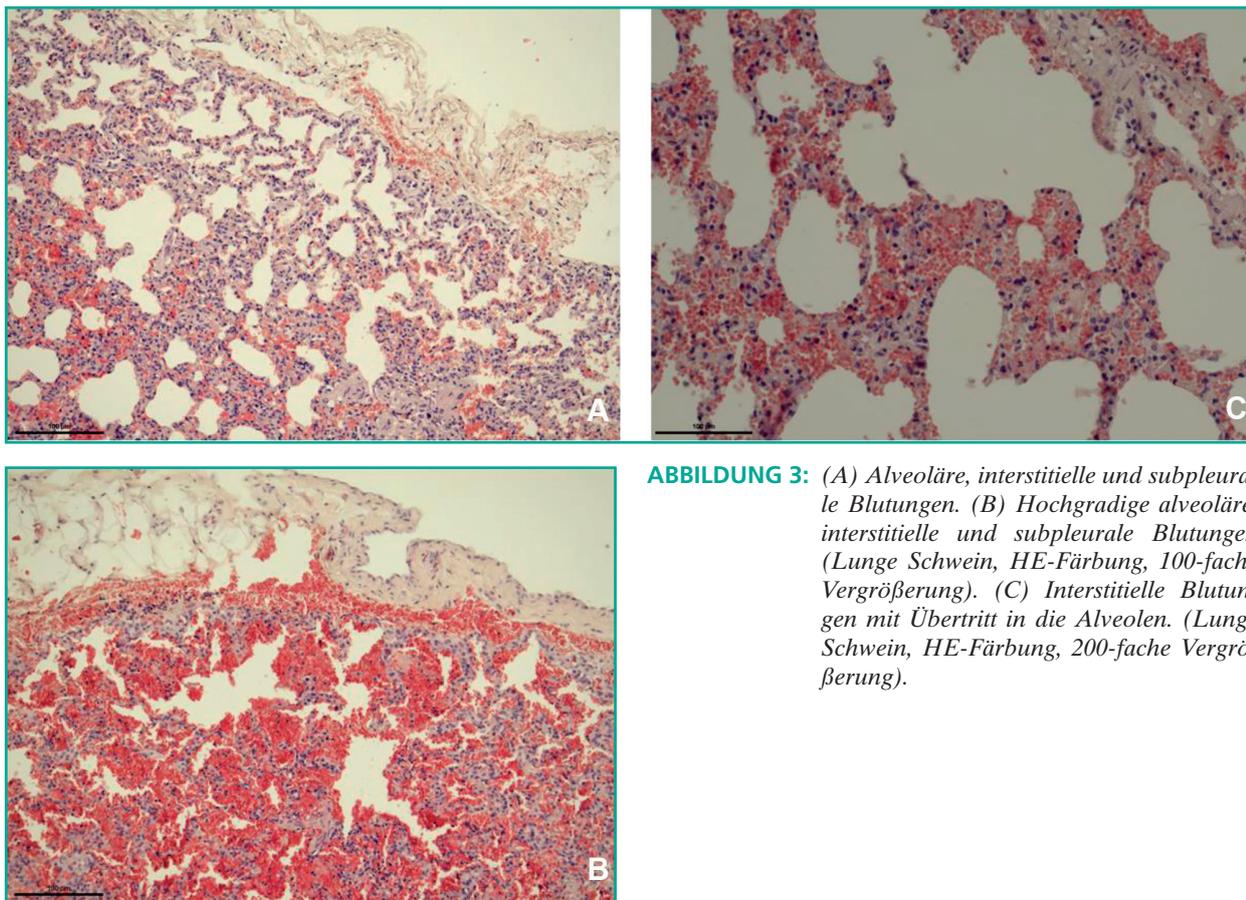
##### Blutaspiration während des Schlachtprozesses

Eine Blutaspiration kann bei fehlerhafter Durchtrennung der großen Blutgefäße am Hals während des Stechens auftreten. Infolge von Atembewegungen kann es zur Aspiration von Blut in die Bronchien und Alveolen kommen



**ABBILDUNG 2:** (A) Bronchus mit peribronchialen und luminalen Blutansammlungen sowie Einblutungen in die Alveolen. (B) Bronchus mit peribronchialen Blutungen und Blutübertritt in die Alveolen. (Lunge Schwein, HE-Färbung, 100-fache Vergrößerung)

The contents are protected by copyright. The distribution by unauthorized third parties is prohibited.



**ABBILDUNG 3:** (A) Alveoläre, interstitielle und subpleurale Blutungen. (B) Hochgradige alveoläre, interstitielle und subpleurale Blutungen (Lunge Schwein, HE-Färbung, 100-fache Vergrößerung). (C) Interstitielle Blutungen mit Übertritt in die Alveolen. (Lunge Schwein, HE-Färbung, 200-fache Vergrößerung).

(Vallant, 2013). Für Schweine schwanken die angegebenen Prävalenzen zum Auftreten von Blutaspilation bei der Schlachtung zwischen 1,2–41,5 % (Schleicher et al., 2013). Die mittlere Prävalenz in der vorliegenden Studie lag mit  $7,80 \pm 2,70$  % auf moderatem Niveau. Mögliche Ursachen für das Auftreten von Blutaspilation sind schlachttechnische Schäden und Fehlbetäubungen. Bei Eintritt in die hochkonzentrierte  $\text{CO}_2$ -Atmosphäre zeigen Schweine typische Abwehr- und Fluchtbewegungen (Raj und Gregory, 1996; Velarde et al., 2007). Um mögliche Verletzungen der oberen Atemwege zu beurteilen, wurde in der vorliegenden Studie das Vorkommen von Epistaxis untersucht. Nach Auswurf aus der Gondel konnte bei 2,67 % der Tiere Epistaxis beobachtet werden. Beim Menschen sind Fälle von Blutaspilation als Folge von Epistaxis beschrieben (Byard, 2016). Allerdings waren bei der pathomorphologischen Untersuchung der entnommenen Köpfe weder Läsionen noch konsekutive Blutungen an den Conchen erkennbar. Schlachttechnische Verletzungen als Ursache für auftretende Nasenblutungen lagen nicht vor.

Verletzungen der Trachea in Verbindung mit einer unzureichenden Betäubung können das Auftreten von Blutaspilation verursachen (Gregory et al., 2009). Erhöhte Prävalenzen von Blutaspilation mit mehr als 65 % sind bei der Schlachtung von Rindern ohne Anwendung einer Betäubung beschrieben (Agbeniga und Webb, 2012). In der vorliegenden Studie kam es bei 5,34 % der Tiere zu Fehlbetäubungen, die anhand reflektorischer Atembewegungen bei ausgeschaltetem Corneareflex festgestellt wurden. Gleichzeitig wurde bei 14,61 % der Tiere das Vorliegen einer Blutaspilation beanstandet. Pathomorphologisch konnten keine Verletzungen der Tracheen festgestellt werden.

Sarolli und Bittencourt (2016) beschreiben ein Vorkommen für Blutaspilation von 70,6 % bei einer Schweineher-

de mit nachgewiesener *Mycoplasma hyopneumoniae*-Infektion. Insgesamt wiesen die Autoren bei 93,4 % der Tiere typische Läsionen der Enzootischen Pneumonie nach. Mögliche Einflüsse respiratorischer Erkrankungen auf den Betäubungserfolg können nicht ausgeschlossen werden. Neben *M. hyopneumoniae* konnte in der vorliegenden Studie bei drei Tieren *P. multocida* nachgewiesen werden. *P. multocida* kommt als Primär- und Sekundärerreger bei Pneumonien von Schweinen vor (de Oliveira Filho et al., 2015). *M. hyopneumoniae* und *P. multocida* können im Rahmen des porcine respiratory disease complexes schwer verlaufende Pneumonien beim Schwein auslösen (Register und Brockmeier, 2019). Auswirkungen auf den Betäubungserfolg bei Schweinen mit Pneumonien sind bislang nicht beschrieben. Allerdings konnten bei der Euthanasie von Saugferkeln mit respiratorischer Symptomatik unter hoher  $\text{CO}_2$ -Konzentration kaum Auswirkungen auf die Betäubungswirkung beobachtet werden (Sadler et al., 2013). In der vorliegenden Studie wurden *M. hyopneumoniae* und *P. multocida* lediglich bei Einzeltieren nachgewiesen. Beim Schlachtlungencheck wurden geringgradige Läsionen bei niedrigen, mittleren Gesamtscores erfasst. Eine niedrige Erregerprävalenz in Verbindung mit den makroskopischen Lungenbefunden innerhalb der Schlachtpartie geben keine Hinweise auf vorliegende klinisch relevante Pneumonien.

In Anbetracht der erhobenen Befunde zu Einflüssen der Schlachttechnik und der Tiergesundheit ist im vorliegenden Fall eine Blutaspilation infolge von Verletzungen oder Fehlbetäubungen auszuschließen.

#### Wirkung der $\text{CO}_2$ -Betäubung

$\text{CO}_2$  beschleunigt die Atmung und führt zu einer gesteigerten Herzfrequenz sowie einer Erhöhung des Blutdrucks. Bei Versuchen im Kaninchenmodell kommt es zu einer

*The contents are protected by copyright. The distribution by unauthorized third parties is prohibited.*

verstärkten Vasokonstriktion der pulmonalen Blutgefäße (Ketabchi et al., 2009) und einer Steigerung des pulmonalen arteriellen Blutdruckes (Triantaris et al., 2022). West (2000) beschreibt Schädigungen der pulmonalen Kapillaren durch einen Anstieg des Blutdruckes bei Rennpferden. Druckbedingte Läsionen der Blutgefäße und des Alveolarepithels führen zu Einblutungen in die Lunge (West, 2000). Bei Pferden ist dieses Krankheitsbild im Rahmen der leistungsinduzierten Lungenblutung (Exercise-induced pulmonary hemorrhage) ausführlich beschrieben worden. Eine hohe körperliche Belastung bei Rennpferden bewirkt einen starken Anstieg des Blutdruckes und führt zu Schäden an den Lungenkapillaren (West et al., 1993; Schroter et al., 1998; Deaton et al., 2006; Langsetmo et al., 2010; Hinchcliff et al., 2015). In der Sektion zeigten betroffene Pferde dunkle, großflächige Verfärbungen in den dorsokaudalen Regionen der kaudalen Lungenlappen (O’Callaghan et al., 1987). Williams et al. (2008) konnten histologisch vaskuläre Remodellierungsprozesse sowie ein gehäuftes Vorkommen von Hämosiderin und Fibrosen bei Rennpferden beobachten. Sie führten dies auf Regenerationen infolge von chronischen kapillären Schädigungen zurück. In der vorliegenden Studie konnten makroskopisch und histologisch akute Blutungen nachgewiesen werden, wie sie als Folge agonaler Hypoxie auftreten können (Vallant, 2013). Bislang sind Auswirkungen des Blutdruckanstiegs in den Lungenkapillaren beim Schwein nicht beschrieben. Anhand gesteigerter Herzfrequenzen (Mota-Rojas et al., 2012) und veränderter Blutparameter (Becerril-Herrera et al., 2009) ist eine stressinduzierte gesteigerte körperliche Leistung der Schweine zu vermuten. Eine hohe CO<sub>2</sub>-Konzentration von über 90 % bei einer Dauer von 140 Sekunden, wie sie in der vorliegenden Studie angewendet wurde, bewirkt einen rapiden Anstieg des CO<sub>2</sub>-Partialdruckes im Blut (Rodríguez et al., 2008). Der rasche Blutdruckanstieg bei der CO<sub>2</sub>-Betäubung von Schweinen löst möglicherweise eine wie bei Rennpferden vorkommende leistungsinduzierte Lungenblutung aus. Dies würde das Vorkommen größerer Blutmengen in den Lungen erklären.

### **Einflüsse der CO<sub>2</sub>-Betäubung auf die Schlachtlungenqualität**

Eine Beurteilung der Schlachtlungen wird in Deutschland flächendeckend im Rahmen der amtlichen Fleischuntersuchung durchgeführt. Die Befunddaten werden am Schlachtbetrieb erfasst, ausgewertet und den landwirtschaftlichen Betrieben zurückgemeldet. Eine einheitliche Beurteilungsgrundlage existiert für die Lungenbefundung nicht, aber es wurden Erfassungsschemata z. B. von Blaha und Neubrand (1994) und Steinmann (2018) beschrieben, die Anwendung finden. Für das Vorliegen von schlachttechnisch-bedingter Blutaspilation existiert ebenfalls keine einheitliche Beurteilungsgrundlage (Schleicher et al., 2013). In der vorliegenden Studie konnten amtlich beanstandete Blutaspilationen nicht auf Fehler in der Schlachttechnik zurückgeführt werden. Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-Betäubung auf die Integrität der Lungenkapillaren werden als Ursache der auftretenden Lungenblutungen vermutet. Angesichts des Einsatzes hochkonzentrierter CO<sub>2</sub>-Atmosphären bei der Betäubung von Schweinen ist ein maßgeblicher Einfluss auf die Schlachtlungenqualität zu vermuten. Mit einer Prävalenz von 14,61 % konnte im vorliegenden Fall für eine einzelne Schlachtpartie ein hoher Wert an Lungenblutungen ermittelt werden. Nach groben Schätzungen kann durchschnittlich von Prävalenzen um 3–5 % ausgegangen werden (Birka S., Institut für Lebensmittel-

hygiene der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig, Deutschland, persönliche Mitteilung am 09.06.2020). Literaturangaben mit validierten Werten zu der beschriebenen Problematik fehlen bislang.

Neben den Einflüssen auf die Schlachtlungenqualität, ist die Beeinträchtigung des Wohlbefindens der Tiere zu beachten. Anhand des pathologischen Bildes von Schlachtlungen kann bei Schweinen nicht zwischen Blutaspilation und Lungenblutungen differenziert werden. In der vorliegenden Studie konnte das Auftreten von Lungenblutungen anhand der Erhebung des Gesundheitsstatus der Tiere, der Überwachung schlachttechnischer Fehler und pathologischer Untersuchungen der Schlachtlungen gesichert werden. Die wahrscheinlich stressbedingte Entstehung von Lungenblutungen unter CO<sub>2</sub>-Betäubung ist als tierschutzrelevantes Problem zu beurteilen. Bei Pferden wird das Auftreten von leistungsinduzierten Lungenblutungen bereits als tierschutzrelevantes Problem diskutiert (Hinchcliff et al., 2015). Das Vorliegen von Blutaspilation bei Schweinen wird als tierschutzrelevantes Kriterium benannt und auf Fehler in der Schlachttechnik zurückgeführt (Grandin, 2010). Vermutlich wurden bisher auftretende Lungenblutungen bei der amtlichen Fleischuntersuchung als Blutaspilationen beanstandet.

Angesichts möglicher Auswirkungen hochkonzentrierter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Entstehung von Lungenblutungen sind alternative Betäubungsgase zu diskutieren. Die CO<sub>2</sub>-Betäubung kommt wegen geringer Auswirkungen auf die Schlachtkörperqualität im Vergleich zu anderen zulässigen Betäubungsverfahren häufig zum Einsatz (Zybert, 2022). Eine Verwendung anderer Betäubungsgase und der Einfluss auf den Betäubungsverlauf sowie die Schlachtkörperqualität wurden bereits untersucht (Sindhøj et al., 2021). Beim Einsatz von Stickstoff zeigten die Schweine ähnliche Abwehrreaktionen wie bei der CO<sub>2</sub>-Betäubung (Lonch et al., 2012a). Negative Einflüsse auf die Schlachtkörperqualität wie ekchymale Blutungen im Schinken und erhöhte Tropfsaftverluste einhergehend mit einer RSE-Klassifizierung (red, soft, exsudative) des Fleisches wurden beobachtet (Lonch et al., 2012b). Unter Verwendung von stickstoffhaltigem Schaum sind stressreduzierte Betäubungen beschrieben (Lindahl et al., 2020). Betäubungen mit hohen Argon-Konzentrationen hatten ebenfalls ein vermindertes Abwehrverhalten der Schweine zur Folge (Dalmau et al., 2010). Machtolf et al. (2013) beobachteten beim Einsatz von Helium signifikant niedrigere Stressreaktionen während der Betäubung und eine signifikant bessere Schlachtkörperqualität im Vergleich zur CO<sub>2</sub>-Betäubung. Auswirkungen verschiedener Betäubungsgase auf die Schlachtlungen, das Auftreten von Blutaspilationen oder Lungenblutungen bei Schweinen sind bislang in der Literatur nicht beschrieben. Angesichts der Lungenläsionen unter hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen ist der Einsatz von stressreduzierten Betäubungsverfahren zu diskutieren und im Sinne des Tierwohls anzustreben.

### **Schlussfolgerung**

Auswirkungen einer hohen CO<sub>2</sub>-Konzentration auf die Integrität der Lungenkapillaren und daraus resultierende Lungenblutungen beim Schwein konnten mit dieser Studie erstmals beschrieben werden. Anhand der vorliegenden Ergebnisse lässt sich die Notwendigkeit einheitlicher Definitionen der Blutaspilation für die amtliche Fleischuntersuchung ableiten, um Auswirkungen auf die Schlacht-

The contents are protected by copyright. The distribution by unauthorized third parties is prohibited.

lungenqualität und Beeinträchtigungen des Tierwohls zu erkennen. Eine Differenzierung zwischen Blut aspiration und betäubungsbedingten Läsionen an Schlachtlungen ist mit einer fundierten Abklärung der Tiergesundheit, möglicher schlachttechnischer Fehler und weiterführender pathologischer Untersuchungen möglich. Um die Ätiologie und Prävalenzen auftretender Lungenblutungen unter Einfluss der CO<sub>2</sub>-Betäubung beim Schwein valide zu erfassen, sind weiterführende Studien notwendig.

## Interessenskonflikte

Es bestehen keine Interessenskonflikte.

## Literaturverzeichnis

- Agbeniga N, Webb EC (2012):** Effect of slaughter technique on bleed-out, blood in the trachea and blood splash in the lungs of cattle. *S Afr J Anim Sci* 42 (1): 524–529. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v42i5.17>
- Atkinson S, Velarde A, Llonch P, Algiers B (2012):** Assessing pig welfare at stunning in Swedish commercial abattoirs using CO<sub>2</sub> group-stun methods. *Anim Welfare* 21: 487–495. DOI: <https://doi.org/10.7120/09627286.21.4.487>
- Bahson PD (1993):** The application of a clinical index of cough. Proc. 24th Annual Meeting Am Ass Swine Pract, Kansas City, USA: 701–705
- Becerril-Herrera M, Alonso-Spilsbury M, Lemus-Flores C, Guerrero-Legerreta I, Olmos-Hernández A, Ramírez-Necochea R, Mota-Rojas D (2009):** CO<sub>2</sub> stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning. *Meat Sci* 81: 233–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.07.025>
- Blaha T, Neubrand J (1994):** Die durchgängige Qualitätssicherung bei der Schweinefleischproduktion. *Prakt. Tierarzt* 75: 57–61
- Byard RW (2016):** Lethal Epistaxis. *J For Sci* 61 (5): 1244–1249. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13119>
- Channon HA, Payne AM, Warner RD (2002):** Comparison of CO<sub>2</sub> stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality. *Meat Sci* 60: 63–68. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00107-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00107-3)
- Dalmou A, Rodríguez P, Llonch P, Velarde A (2010):** Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs. *Anim Welfare* 19: 325–333. DOI: <https://doi.org/10.1017/S096272860000172X>
- Deaton CM, Brown-Feltner H, Henley WE, Roberts CA, Lekeux P, Schroter RC, Marlin DJ (2006):** The effect of inspired gas density on pulmonary artery transmural pressure and exercise induced pulmonary haemorrhage. *Equine Vet J Suppl* 36: 490–494. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05593.x>
- de Oliveira Filho JX, Morés MAZ, Rebelatto R, Agnol AMD, Pleski CLA, Klein CS, Barcellos DESN, Morés N (2015):** *Pasteurella multocida* type A as the primary agent of pneumonia and septicaemia in pigs. *Presq Vet Bras* 35 (8): 716–724. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2015000800003>
- Dodman NH (1977):** Observations on the use of the Wernberg dip-lift carbon dioxide apparatus for pre-slaughter anaesthesia of pigs. *Br Vet J* 133: 71–80. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1935\(17\)34190-8](https://doi.org/10.1016/S0007-1935(17)34190-8)
- Doležová P, Mačáková P, Chloupek P, Válková L, Semerád Z, Takáčová D (2021):** The occurrence of technological damage in slaughtered cattle, pigs, sheep and goats in the Czech Republic. *Acta Vet Brno* 90: 439–451. DOI: <https://doi.org/10.2754/avb202190040439>
- Dottori M, Nigrelli AD, Bonilauri P, Merialdi G, Gozio S, Cominotti F (2007):** Proposal for a new grading system at slaughterhouse. The S.P.E.S. (Slaughterhouse Pleuritis Evaluation System) grid. *Large Anim Rev* 13 (4): 161–165, ref. 8
- EFSA (2004):** Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. *EFSA Journal* 45: 1–29. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2004.45>
- EFSA (2013):** Scientific Opinion on monitoring procedures at slaughterhouses for pigs. *EFSA Journal* 11 (12): 3523, 62 pp. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3523>
- EFSA (2020):** Scientific Opinion on the welfare of pigs at slaughter. *EFSA Journal* 18 (6): 6148, 113pp. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6148>
- Forslid A (1987):** Transient neocortical, hippocampal and amygdaloid EEG silence induced by one minute inhalation of high concentration CO<sub>2</sub> in swine. *Acta Physiol Scand* 130: 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1987.tb08104.x>
- Fruet APB, Scortegagna A, de Avila Fabricio E, Kirinus JK, Dörr AC, Nörnberg JL (2013):** Economic losses due to condemnation of swine organs in slaughterhouses under municipal inspection service. *Rev Elet em Gestão, Educaç e Tecnológica Ambiental* 11 (11): 2307–2312. DOI: <https://doi.org/10.5902/223611708727>
- Grandin T (2010):** Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Sci* 86: 56–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.022>
- Gregory NG, von Wenzlawowicz M, von Holleben K (2009):** Blood in the respiratory tract during slaughter with and without stunning in cattle. *Meat Sci* 82: 13–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.11.021>
- Hartmann H, Rindermann G, Siegling-Vlitakis C, Arndt G, Wolf K, Fries R (2010):** Relationship between the response to the corneal reflex (depth of narcosis) and specific parameters in the slaughter blood of pigs narcotised with CO<sub>2</sub>. *Anim Welfare* 19: 515–522. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962728600001986>
- Hinchcliff KW, Couetil LL, Knight PK, Morley PS, Robinson NE, Sweeney CR, van Erck E (2015):** Exercise induced pulmonary hemorrhage in horses: American College of Veterinary Internal Medicine consensus statement. *J Vet Intern Med* 29: 743–758. DOI: <https://doi.org/10.1111/jvim.12593>
- Kale MC, Aral Y, Aydin E, Cevger Y, Sakarya E, Güloğlu SC (2011):** Determination of by-product economic values for slaughtered cattle and sheep. *Kafkas Univ Vet Fak Derg* 17 (4): 551–556. DOI: <https://doi.org/10.9775/kvfd.2010.3945>
- Ketabchi F, Egemnazarov B, Schermuly RT, Ghofrani HA, Seeger W, Grimminger F, Shid-Moosavi M, Dehghani GA, Weissmann N, Sommer N (2009):** Effects of hypercapnia with and without acidosis on hypoxic pulmonary vasoconstriction. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 297: L977–L983. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajplung.00074.2009>
- Langsetmo I, Fedde MR, Meyer TS, Erickson HH (2010):** Relationship of pulmonary arterial pressure to pulmonary haemorrhage in exercising horses. *Equine Vet J* 32 (5): 379–384. DOI: <https://doi.org/10.2746/04251640077591066>
- Lindahl C, Sindhøj E, Hellgren RB, Berg C, Wallenbeck A (2020):** Responses of pigs to stunning with nitrogen filled high-expansion foam. *Animals* 10: 2210. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10122210>
- Llonch P, Dalmou A, Rodríguez P, Manteca X, Velarde A (2012):** Aversion to nitrogen and carbon dioxide mixtures for stunning pigs. *Anim Welfare* 21: 33–39. DOI: <https://doi.org/10.7120/096272812799129475>
- Llonch P, Rodriguez P, Gispert M, Dalmou A, Manteca X, Velarde A (2012b):** Stunning pigs with nitrogen and carbon dioxide mixtures: effects on animal welfare and meat quality. *Animal* 6 (4): 668–675. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731111001911>
- Machtolf M, Moje M, Troeger K, Bülte M (2013):** Stunning slaughter pigs with helium compared to carbon dioxide. *Fleischwirtschaft* 93: 118–124
- Madec F, Kobisch M (1982):** Bilan lésionnel des poumons de porcs charcutier à l'abattoir. *Journées rech. porcine en France* 14: 405–412. URL: <https://www.journees-recherche-porcine.com/texte/1982/82txtPatho/P8204.pdf>
- Martoft L, Lomholt L, Kolthoff C, Rodriguez BE, Jensen EW, Jørgensen PF, Pedersen HD, Forslid A (2002):** Effects of CO<sub>2</sub> anaesthesia on central nervous system activity in swine. *Lab Anim* 36: 115–126. DOI: <https://doi.org/10.1258/0023677021912398>
- Martoft L, Stødkilde-Jørgensen H, Forslid A, Pedersen HD, Jørgensen PF (2003):** CO<sub>2</sub> induced acute respiratory acidosis and brain tissue intracellular pH: a 31P NMR study in swine. *Lab Anim* 37: 241–248. DOI: <https://doi.org/10.1258/002367703766453092>
- Mota-Rojas D, Bolanos-Lopez D, Concepcion-Mendez M, Ramirez-Telles J, Roldan-Santiago P, Flores-Peinado S, Mora-Medina P (2012):** Stunning swine with CO<sub>2</sub> gas: Controversies related to animal welfare. *Int J Pharmacol* 8 (3): 141–151. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijp.2012.141.151>

*The contents are protected by copyright. The distribution by unauthorized third parties is prohibited.*

- Nathues H, Spersger J, Rosengarten R, Kreienbrock L, Grosse Beilage E (2012):** Value of the clinical examination in diagnosing enzootic pneumonia in fattening pigs. *Vet J* 193: 443–447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.01.013>
- O'Callaghan MW, Pascoe JR, Tyler WS, Mason DK (1987):** Exercise-induced pulmonary haemorrhage in the horse: results of a detailed clinical, post mortem and imaging study. II. Gross lung pathology. *Equine Vet J* 19 (5): 389–393. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1987.tb02628.x>
- Raj ABM, Gregory NG (1996):** Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress of induction of anaesthesia. *Anim Welfare* 5: 71–78. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962728600018352>
- Register KB, Brockmeier SL (2019):** Pasteurellosis. In: Zimmerman JJ, Karriker LA, Ramirez A, Schwartz KJ, Stevenson GW, Zhang J (ed.), *Diseases of Swine*, 11th Edition, Wiley Blackwell, Hoboken, NJ, USA, 884–897
- Rodríguez P, Dalmáu A, Ruiz-de-la-Torre JL, Manteca X, Jensen EW, Rodríguez B, Litvan H, Velarde A (2008):** Assessment of unconsciousness during carbon dioxide stunning in pigs. *Anim Welfare* 17: 341–349. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962728600027834>
- Sadler LJ, Karriker LA, Johnson AK, Schwartz KJ, Widowski TM, Wang C, Millman ST (2013):** Swine respiratory disease minimally affects responses of nursery pigs to gas euthanasia. *J Swine Health Prod* 22 (3): 125–133
- Sarolli VMM, Bittencourt LHFB (2016):** Pulmonary injuries in swine slaughtered in a slaughterhouse at Lindoeste – PR. *Anais do 14º Encontro Científico Cultural Interinstitucional 2016*, Cascavel, PR, BRA
- Schleicher C, Scheriau S, Kopacka I, Wanda S, Hofrichter J, Köfer J (2013):** Analysis of the variation in meat inspection of pigs using variance partitioning. *Prev Vet Med* 111 (3–4): 278–285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.05.018>
- Schroter RC, Marlin DJ, Denny E (1998):** Exercise-induced pulmonary haemorrhage (EIPH) in horses results from locomotory impact induced trauma – a novel, unifying concept. *Equine Vet J* 30 (3): 186–192. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1998.tb04486.x>
- Semenova AA, Sinichkina AI, Kozyrev IV, Mittelstein TM (2020):** An effect of the animal condition after gas stunning on quality of slaughter products from Large White pigs. *Theo Prac Meat Proc* 5 (2): 39–44. DOI: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-2-39-44>
- Sindhøj E, Lindahl C, Bark L (2021):** Review: Potential alternatives to high-concentration carbon dioxide stunning of pigs at slaughter. *Animal* 15:100164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100164>
- Steinmann T (2018):** Untersuchungen zur Standardisierung der pathologisch-anatomischen Befunderhebung an Lungen von Mastschweinen auf unterschiedlichen Schlachthöfen im Rahmen der Einführung der risikoorientierten Schlachttier- und Fleischuntersuchung. Hannover, Deutschland, Tierärztliche Hochschule Hannover, Diss. URL: [https://elib.tiho-hannover.de/receive/etd\\_mods\\_00000035](https://elib.tiho-hannover.de/receive/etd_mods_00000035)
- Triantaris A, Aidonidis I, Hatziefthimiou A, Gourgoulisian K, Zakynthinos G, Makris D (2022):** Elevated PaCO<sub>2</sub> levels increase pulmonary artery pressure. *Sci Prog* 105 (2): 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1177/00368504221094161>
- Vallant A (2013):** Kapitel 9 Kehlkopf/Lunge. In: Taschenatlas Schlachttierkörper-Pathologie bei Rind und Schwein. Enke Verlag, Erlangen, BY, D
- Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Manteca X, Diestre A (2000):** Effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Sci* 55: 309–314. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(99\)00158-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(99)00158-8)
- Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Alonso P, Manteca X, Diestre A (2001):** Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. *Meat Sci* 58: 313–319. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00035-3)
- Velarde A, Cruz J, Gispert M, Carrión D, de la Torre Ruiz JL, Diestre A, Manteca X (2007):** Aversion to carbon dioxide stunning in pigs: effect of carbon dioxide concentration and halothane genotype. *Anim Welfare* 16: 513–522. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962728600027445>
- Verhoeven M, Gerritzen M, Velarde A, Hellebrekers L, Kemp B (2016):** Time to loss of consciousness and its relation to behaviour in slaughter pigs during stunning with 80 or 95 % carbon dioxide. *Front Vet Sci* 3: 38. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00038>
- Verordnung (EG) Nr. 1099/2009** des Rates vom 24. September 2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung zuletzt geändert am 16. Mai 2018 (Stand: Januar 2023)
- von Wenzlawowicz M, von Holleben K, Eser E (2012):** Identifying reasons for stun failures in slaughterhouses for cattle and pigs: a field study. *Anim Welfare* 21 (2): 51–60. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0962728612X13353700593527>
- West JB, Mathieu-Costello O, Jones JH, Birks EK, Logemann RB, Pascoe JR, Tyler WS (1993):** Stress failure of pulmonary capillaries in racehorses with exercise-induced pulmonary hemorrhage. *J Appl Physiol* 75 (3): 1097–1109. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.3.1097>
- West JB (2000):** Invited Review: Pulmonary capillary stress failure. *J Appl Physiol* 89: 2483–2489. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.6.2483>
- Williams KJ, Derksen FJ, de Feijter-Rupp H, Pannirselvam RR, Steel CM, Robinson NE (2008):** Regional pulmonary veno-occlusion: A newly identified lesion of equine exercise-induced pulmonary hemorrhage. *Vet Pathol* 45: 316–326. DOI: <https://doi.org/10.1354/vp.45-3-316>
- Zybert A (2022):** Quantification of the effects of electrical and CO<sub>2</sub> stunning on selected quality attributes of fresh pork: A meta-analysis. *Animals* 12: 1811. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12141811>

**Address of corresponding author:**

Frederik Löwenstein  
 Bildungs- und Wissenszentrum (LSZ) Boxberg  
 Seehöfer Straße 50  
 97944 Boxberg-Windischbuch  
 Deutschland  
 Frederik.Loewenstein@sz.bwl.de