

## Projektskizze

**Untersuchungen zur Betäubung von Schlachtschweinen mit einem Stickstoff-gefüllten hochexpansiven Schaum unter Tierschutz- und Fleischqualitätsaspekten („Proof of Concept“)**

**Kurztitel:** Betäubung mit Stickstoff-Schaum (  $\text{N}_2$  )

**Planlaufzeit:** 8 Monate

**Antragsteller:**

Dr. Michael Marahrens und Dr. Inga Schwarzlose

Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)  
Institut für Tierschutz und Tierhaltung (ITT)  
Dörnbergstraße 25/27  
29223 Celle

### **1. Beschreibung der Mitglieder des Projektkonsortiums**

Das Friedrich-Loeffler-Institut (FLI) und Applied Veterinary Technologies (AVT) bilden zur Durchführung des Projektvorhabens  $\text{N}_2$  ein Projektkonsortium. Dabei übernimmt das FLI die Koordination und Leitung dieses Verbundprojektes.

#### **Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)**

Das Institut für Tierschutz und Tierhaltung (ITT) ist eines von insgesamt 11 Instituten des Friedrich-Loeffler-Instituts, das als Bundesforschungsinstitut und unabhängige Bundesoberbehörde beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft wissenschaftliche Grundlagen für politische Entscheidungen der Bundesregierung erarbeitet. Die Forschungsschwerpunkte sind:

- Transport, Betäubung und Tötung: Anforderungen an tierschutzgerechte Transporte, alternative Betäubungsmethoden, tierschutzgerechte Tötung im Seuchenfall
- Verbesserung der Tierhaltung: Möglichkeiten zur Strukturierung und verhaltensgerechten Gestaltung der Haltungsumwelt, Managementmaßnahmen und -konzepte zur Verbesserung der Tiergerechtigkeit
- Verhaltensansprüche und -störungen: Ruhe- und Komfortverhalten von Legehennen, verhaltensgenetische und physiologische Grundlagen des Federpickens und “Kannibalismus” bei Geflügel, Maßnahmen gegen Schwanzbeißen bei Mastschweinen, Anforderungen für die Haltung von Ebern in der Mast
- Bewertungsmethoden: Evaluierung nicht-invasiver Tierschutzindikatoren, on-farm Erhebungen

Aktuell hat das FLI-ITT neun etatmäßig sowie drei auf Basis von Drittmitteln befristet beschäftigte wissenschaftliche Mitarbeiter sowie eine Doktorandin. Die automatisierte Erhebung und Auswertung von Daten wird durch einen Elektrotechniker unterstützt.

### **Applied Veterinary Technologies (AVT)**

AVT (Applied Veterinary Technologies) steht für ein Unternehmen für Forschung und Entwicklung und den Austausch von Informationen nicht nur zu tierschutzgerechten Methoden und Techniken sowie zur Gesetzgebung hinsichtlich der Schlachtung und Tötung von Nutztieren, sondern auch zur Tierkörperbeseitigung und zu arbeitsschutzrechtlichen Maßnahmen im Rahmen eines Tierseuchenkrisenfalles.

## **2. Hintergrund und Stand der Forschung**

Die Gasbetäubung mit Kohlendioxid wird aufgrund der im Vergleich zur Elektrobetäubung möglichen höheren Stundenleistung durch die gleichzeitige Betäubung mehrerer Tiere sowie infolge des geringeren Handlingaufwandes für die Tiere zunehmend eingesetzt (Nowak et al., 2007). Dabei sind laut Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 vom 24. September 2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung mindestens 80 Vol.-% CO<sub>2</sub> über einen Zeitraum von mindestens 100 Sekunden einzusetzen. CO<sub>2</sub> ist ein narkotisch wirksames Gas, das eine tiefe Bewusstlosigkeit erzeugt (Forslid, 1987). Es führt bei Inhalation in hohen Konzentrationen zu einer hyperkapnischen Hypoxie (Dodman, 1977). Die dabei vorliegende respiratorische Azidose führt zu einer Stimulation des chemosensiblen Atemzentrums und damit zu einer reflektorischen Steigerung der Atemfrequenz mit der Folge der Atemnot (Troeger, 2008). Nicht nur der pH-Wert des Blutes, sondern auch der pH der Cerebrospinal- und Liquorflüssigkeit sinkt und führt in Folge zu einem Stadium der Analgesie und Anästhesie (Woodbury and Karler, 1960). Problematisch ist jedoch, dass die anästhesierende Wirkung von CO<sub>2</sub> nicht unmittelbar zu einer Bewusstlosigkeit führt. Während der Einleitungsphase und vor Verlust des Wahrnehmungs- und Empfindungsvermögens führt CO<sub>2</sub> zu einer Hyperventilation und Atemnot (Gregory et al., 1990). Die Tiere sind damit für ca. 10-20 Sekunden einem Gefühl der Atemnot ausgesetzt (Troeger, 2008). Raj et al. (1997) zeigten in ihren Untersuchungen, dass der Verlust der somatosensorisch evozierten Potentiale (SEP) im EEG als eindeutigen Beweis für den Verlust des Bewusstseins bei CO<sub>2</sub> in hohen Konzentrationen (80-90 %) nach 16-36 Sekunden sehr langsam eintritt und großen Variationen unterliegt. CO<sub>2</sub> ist ein stechend riechendes Gas, das bei der Inhalation zu Irritationen der Mukosa des gesamten Respirationstraktes (Peppel und Anton, 1993, zitiert nach Dalmau et al., 2010). Die reizende Wirkung von CO<sub>2</sub> auf Schleimhäute sowie seine atemstimulierende Wirkung (Gefühl der Atemnot) bei vorhandenem Bewusstsein der Tiere sind als tierschutzrelevante Kritikpunkte anzuführen (Machold et al., 2003a). Dalmau et al. (2010) zeigten, dass das Ausmaß der aversiven Reaktionen mit steigender CO<sub>2</sub>-Konzentration zunimmt.

Als alternatives Gas zum CO<sub>2</sub> wird in der Literatur vielfach Argon zitiert. Argon gehört zur Gruppe der Edelgase. Es ist geruchs- und geschmacklos und induziert eine Anästhesie über eine Anoxie (Raj et Gregory, 1995), wobei der CO<sub>2</sub> -Gehalt im Blut reduziert wird

(hypokapnische Anoxie; Raj et al., 1997). Die mit Argon eingeleitete Anoxie als Endstadium der Hypoxie führt bei Schweinen nicht zu Anzeichen der Aversion (Machold et al., 2003a,b) und erzeugt auch keine Atemnotsymptome vor Verlust des Bewusstseins (Raj et Gregory, 1995). Es resultiert bei einer Konzentration von 90% (2% Restsauerstoff) in einem schnelleren Verlust der SEPs (somatosensorisch evozierte Potentiale im EEG) im Vergleich zu CO<sub>2</sub> (innerhalb von 9-21 Sekunden; Raj et al., 1997). Nachteil gegenüber CO<sub>2</sub> ist die verkürzte Zeit, die zur Vermeidung des Wiedererwachens der Tiere zwischen Betäubung und Entblutung zur Verfügung steht (Machold et al., 2003b). Mit Argon ist im Vergleich zu CO<sub>2</sub> eine schonendere Betäubung aufgrund fehlender Abwehrreaktionen zu erreichen. Die Exzitationen und Lautäußerungen waren nach Verlust des Stehvermögens als geringgradig zu bezeichnen (Machold et al., 2003b).

CO<sub>2</sub> und Argon wurden auch in Kombination eingesetzt. Dabei führte die Kombination von 30% CO<sub>2</sub> in Argon nach Raj et al. (1997) zu einem mit CO<sub>2</sub> in hoher Konzentration vergleichbaren schnellen Verlust der SEPs im EEG innerhalb von 11-20 Sekunden. Im Gegensatz zum CO<sub>2</sub> in hohen Konzentrationen zeigten der Großteil der Schweine (75%) bei der Kombination von CO<sub>2</sub> und Argon keine aversiven Reaktionen (Raj et Gregory, 1995).

Helium wird als weitere Alternative aus der Gruppe der Edelgase aufgrund von angeblich nachteiliger Wirkung von Argon auf die Fleischqualität diskutiert. Es wird in der Humanmedizin unter anderem als Atemgas zur Erleichterung der Atmung bei vorliegenden Obstruktionen angewandt (Sykes und Lawrence, 1938; Harris et Barnes, 2008). Die Bewusstlosigkeit wird wie bei Argon durch Hyp- bzw. Anoxie erzeugt. Aus dem EG-Sicherheitsdatenblatt für verdichtetes Helium (2005) geht hervor, dass ein Ersticken bei Inhalation von Helium nicht wahrgenommen wird.

Bei der Betäubung mit 98,5 Vol.-% Helium (Restsauerstoffgehalt: 1,5 Vol.-%) über 180 Sekunden waren keine aversiven Reaktionen bei Mastschweinen im Gegensatz zur Betäubung mit CO<sub>2</sub> feststellbar (n=40 pro Gas; Machtolf et al., 2013). Der Verlust des Standvermögens (und vermutlich des Bewusstseins) erfolgte im Anschluss an schwankende Bewegungen nach durchschnittlich 20s (CO<sub>2</sub>: 16s). Während bei der Ausprägung der Exzitationen beim Vergleich der Helium- mit der Kohlendioxidbetäubung keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden, wurden unter der Wirkung von Helium im Vergleich höchst signifikant niedrigere Katecholamingehalte protokolliert (Machtolf et al., 2013).

Vor dem Hintergrund des großen und stetig ansteigenden Bedarfs an Helium v.a. in der Medizin und in der Industrie bei gleichzeitiger Ressourcenknappheit infolge des begrenzten, endlichen Vorkommens von Helium auf der Erde (Mackowiak, 2011; Dambeck, 2010) ist die Suche nach alternativen Gasbetäubungsverfahren für Schweine zum derzeit eingesetzten Kohlendioxid noch nicht abgeschlossen.

In Hinblick auf die Verfügbarkeit und die Kosten kann Stickstoff eine zukünftige Alternative zur Betäubung von Schweinen darstellen. Zur unmittelbaren Bereitstellung des Gases in

hohen Konzentrationen am Tier kann dabei ein neues Verfahren unter Einsatz eines hochexpansiven und mit Stickstoff gefüllten Schaums (Expansionsrate > 1:250) angewendet werden. Die Wirksamkeit dieses Verfahrens wurde für Geflügel bereits nachgewiesen (McKeegan et al., 2013; Raj et al., 2008). Dabei betrug aufgrund der geringen Konzentration des Restsauerstoffs im Schaum unter 1 % die durchschnittliche Zeitdauer bis zum Verlust der Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit durch Anoxie 30 s bei Hennen und 18 s bei Broilern. Davon abzugrenzen sind luftgefüllte Feuerlöschschäume, die eine Tötung der Tiere durch Verlegung der Luftwege erzeugen und in Hinblick auf den Tierschutz als höchst bedenklich einzustufen sind (u.a. McKeegan et al., 2013; Sparrey et al., 2012; Raj et al., 2008; Benson et al., 2009; Benson et al., 2007; Dawson et al., 2006).

### 3. Fragestellung

Aus den oben angeführten Aspekten ergeben sich auf der Suche nach alternativen Gasbetäubungsverfahren für Schlachtschweine folgende Fragestellungen:

- a. Ist eine tierschutzgerechte Betäubung von Schlachtschweinen mit möglichst geringen Belastungen für das Tier durch Einsatz eines hochexpansiven, Stickstoffgefüllten Schaums möglich?

#### Bei Nachweis der Wirksamkeit des Betäubungsverfahrens:

- b. Wie schnell erfolgt durch dieses Betäubungsverfahren die Einleitung einer gesicherten Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit beim Schwein?
- c. Wie lang hält die Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit des Tieres an und welche Vorgaben können hinsichtlich eines maximalen „Stun-to-Stick“-Intervalls auf Basis der erhobenen Daten gemacht werden?
- d. Welche „Schlüsselparameter“ nach Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 sind für die Überprüfung einer tierschutzgerechten Betäubung mit diesem Verfahren zu benennen?
- e. Welche technischen Parameter sind zur Beschreibung des Betäubungsverfahrens aussagekräftig?
- f. Wie wirkt sich dieses Betäubungsverfahren auf die Fleischqualität im Vergleich zur Betäubung mit Kohlendioxid aus?

### 4. Zielsetzung

Mit den hier beantragten Untersuchungen soll festgestellt werden, inwieweit eine tierschutzgerechte Betäubung von Schlachtschweinen mit hochexpansivem, Stickstoffgefülltem Schaum (Expansionsrate > 350) möglich ist und eine Alternative zur Gasbetäubung mit Kohlendioxid darstellen kann. Bisher wurde die Wirksamkeit und die Tierschutzgerechtheit des Betäubung mit N<sub>2</sub>-Schaum(Anoxie-Technologie) nur für Geflügel nachgewiesen (McKeegan et al., 2013).

## **5. Arbeitsplan**

Das Verbundprojekt gliedert sich in vier Arbeitspakete über einen Zeitraum von acht Monaten. Die Untersuchungen finden im ITT des FLI in Celle sowie im Schlachthof in Rheda-Wiedenbrück statt.

### **AP 1 Dimensionierung der Anoxie-Technologie für den Einsatz bei Schlachtschweinen**

Im AP 1 erfolgt die Entwicklung eines Versuchsaufbaus zur Anwendung der Anoxie-Technik bei Schlachtschweinen. Die Schaumdüse zur Erzeugung des Schaums muss auf die Anwendung in einem Behälter, das zur Bewegungseinschränkung der Schweine während der Versuche genutzt wird, umgebaut werden. Dabei soll zur Minimierung von Belastungen für das Tier die Schaumzuführung aus mehreren Düsen möglichst von unten erfolgen. Der Bedarf an Wasser, Stickstoff und Schaummittel ist an diese Bedingungen anzupassen. Die Anpassung der Anoxie-Technik an die Versuchsbedingungen erfolgt mit dem bisher bei Tötungen von Geflügel im Tierseuchenfall eingesetzten Schaummittel HTF-1000 im Labor zunächst ohne die Verwendung von Tieren.

Stickstoff wird über einen gemieteten Stickstoff-Generator (inkl. notwendigem zusätzlichem Equipment wie Stromgenerator, Kompressor und Behälter zur Bevorratung und Sicherung einer kontinuierlichen Bereitstellung) bereitgestellt.

#### Ergebnisziele:

- Fertigstellung des Versuchsaufbaus (Monat 3, Meilenstein 1)

### **AP 2 Finale Auswahl der zu untersuchenden tierbasierten Belastungsindikatoren sowie der technischen Parameter und Aufstellung einer geeigneten Messtechnik**

Für eine zulässige Anwendung der Anoxie-Technik in Behältnissen muss sichergestellt werden, dass die Tiere nicht mehr als unvermeidbaren Belastungen ausgesetzt werden. Die Auswahl tierbasierter Indikatoren und technischer Parameter bei der Betäubung von Schweinen mit Stickstoff-Schaum erfolgt in Anlehnung an McKeegan et al. (2013) und anderen wissenschaftlichen Veröffentlichungen und orientiert sich an den Vorgaben der EFSA (2013). Zusätzlich, wenn nicht bereits durch diese Arbeiten abgedeckt, werden Schlüsselparameter entsprechend der VO (EG) Nr. 1099/2009 einbezogen. Eine Vorauswahl der Parameter ist in Tabelle 1 dargestellt. Das Tierverhalten während der Betäubung wird unter Einsatz von Bewegungs- oder Beschleunigungssensoren und auf Basis einer videogestützten Verhaltensbeobachtung bewertet. Der Antrag auf Genehmigung dieses Tierversuchsvorhabens wird in AP 1 und AP 2 vorbereitet und an die zuständige Behörde gestellt.

Tabelle 1 Vorauswahl tierbasierter Belastungsindikatoren und technischer Parameter im Projektvorhaben BEN<sub>2</sub>

<u>Parameter</u>	
<b>Tier- bezogene Parameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Körpertemperatur (intravaginale Applikation von i-Buttons bei weiblichen Tieren)</li> <li>• EEG bei jedem Tier (Verlust Wahrnehmungsvermögen, SEP)</li> <li>• EKG (Kontrolle der Herzrätigkeit)</li> <li>• Tierverhalten (videobasiert sowie unter Einsatz von Bewegungssensoren)</li> <li>• Reflexprüfung</li> <li>• Dauer der Bewusstlosigkeit (Zeit von der Betäubung des Tieres bis zum Wiedererwachen bei ausbleibender Entblutung; bei ersten Anzeichen wiederkehrender Wahrnehmungs- und Empfindungsfähigkeit Wiederholung der Betäubung durch alternatives Verfahren (Bolzenschuss) und Tötung des Tieres)</li> <li>• maximales „Stun-to-Stick“-Intervall</li> <li>• Blutgasanalyse (pO<sub>2</sub>, pCO<sub>2</sub>)</li> <li>• pH-Wert, Temperatur, Adrenalin, Noradrenalin, Creatinkinase, Glucose, Laktat (Stichblut)</li> <li>• Tierdichte (Anzahl und kg/m<sup>2</sup>)</li> <li>• Sektion des Respirationstraktes, Nachweis von Tensiden im Atemweg über Tupferproben</li> </ul>
<b>Technische Parameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Gaskonzentrationen und andere gasspezifische Parameter:</u></b></li> <li>• Stickstoffkonzentration: am Anfang, während und am Ende der Betäubung; Protokollierung von Minimum- und Maximumkonzentrationen (Verlaufsmessungen)</li> <li>• Qualität des verwendeten Gases (inkl. Messung der Temperatur und Feuchtigkeit)</li> <li>• Temperatur am Gaseinlass der Kammer, durchschnittliche Temperatur im Gemisch mit Luftatmosphäre</li> <li>• Restsauerstoffgehalt: am Anfang, während und am Ende der Betäubung, Protokollierung von Minimum- und Maximumkonzentrationen (Verlaufsmessungen)</li> <li>• Lautstärkemessungen bei Schaumzuführung</li> <li>• <b><u>Dauer:</u></b></li> <li>• Anflutungszeit bzw. Dauer bis zum Erreichen der Zielkonzentration (hier: Dauer zur Befüllung der bewegungseinschränkenden Vorrichtung mit Schaum)</li> <li>• Expositionsdauer</li> </ul>
<b>Fleisch- qualität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH-Wert, Leitfähigkeit jeweils 45 Minuten post mortem</li> <li>• pH-Wert, Leitfähigkeit jeweils 24 Stunden post mortem</li> <li>• Knochenbrüche, Blutungen</li> <li>• Fleischfarbe (La*b*-System)</li> <li>• Wasserbindungsvermögen</li> <li>• Tropfsaftverlust</li> </ul>

#### Ergebnisziele:

- Finale Auswahl der Messparameter und Bereitstellung der Messtechnik (Monat 3, Meilenstein 1)
- Antrag auf Genehmigung des Tierversuches (Monat 3)

#### **AP 3 Anwendung der Anoxie-Methode zur Betäubung von Schlachtschweinen im Tierversuch und unter Laborbedingungen („Proof of Concept“)**

In diesem Arbeitspaket erfolgt die Anwendung der Anoxie-Methode unter Laborbedingungen im Tierversuch. Die Ausführung dieses „Proof of Concept“ ist von den in AP 1 und AP 2 erzielten Resultaten abhängig und kann nach Erteilung der Tierversuchsgenehmigung durch die zuständige Behörde erfolgen.

Die Versuche erfolgen mit dem Schaummittel HTF-1000 an Schlachtschweinen möglichst gleicher Herkunft und Genetik mit einem durchschnittlichen Lebendgewicht von 120 kg im Schlachthof in Rheda-Wiedenbrück. Eine Anlieferung der Tiere erfolgt über die Fa. Tönnies.

Derzeit wird bei diesem „Proof of Concept“ aufgrund der erwarteten Reaktionen des Tieres von einer Versuchstierzahl von 36 Schweinen zur statistischen Absicherung der Daten ausgegangen. Wenn die Varianzbreite der Tierreaktionen größer ausfällt als erwartet, ist zur statistischen Auswertung der Daten die Versuchstierzahl zu erhöhen und die Projektdauer entsprechend zu verlängern.

#### Ergebnisziel:

- Abschluss des Tierversuchs (Monat 6, Meilenstein 2)

#### **AP 4 Ergebnisauswertung und Ausblick auf mögliche Nachfolgeprojekte**

In AP 4 erfolgt eine abschließende Auswertung der Ergebnisse. Bei Projektende erfolgt die Erstellung eines Abschlussberichts. Im Anschluss daran werden FLI und AVT die gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich der möglichen Fortführung weiterer Untersuchungen mit dem Schlachtunternehmen erörtern. Bei Nachweis der Wirksamkeit dieses Betäubungsverfahrens bei Schlachtschweinen können die Untersuchungen zum „Ground Truthing“ beginnen, d.h. die Umsetzung des Betäubungsverfahrens im Schlachthof (mit Bau einer entsprechenden Pilot-Schlachtlinie). Dabei sind saisonale Einflüsse durch Untersuchungen im Sommer und Winter sowie Einflüsse durch bestimmte Schlachttage zu berücksichtigen. Dieses mögliche Nachfolgeprojekt erfolgt unter Beachtung der Anforderungen der EFSA an die Einführung neuer Betäubungsmethoden und würde dann die Erstellung von Standardarbeitsanweisungen, Schulungsmaterialien sowie Daten zur Wirtschaftlichkeit der Methode (u.a. Investitionen, Betriebskosten, betriebliche Aufwendungen) einschließen können.

#### Ergebnisziel:

- Erstellung des Abschlussberichts (Monat 8, Meilenstein 3)

Der zeitliche Ablauf der Arbeitspakete einschließlich der geplanten Meilensteine ist in Tabelle 2 dargestellt. Ein möglicher Projektstart ist nach Zuschlagserteilung ab Mai 2015 möglich.

Tabelle 2 Balkenplan zum Projektvorhaben BEN<sub>2</sub>

Arbeitspaket (AP)	Projektmonate (M = Monat)							
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8
AP 1: Dimensionierung der Anoxie-Technologie für Schlachtschweine								
AP 2: Finale Auswahl der Messparameter, Aufstellung Messtechnik			1					
AP 3: Tierversuch ("Proof of Concept")						2		
AP 4: Ergebnisauswertung, Ausblick auf mögliche Nachfolgeprojekte								3

1 = Meilenstein 1 = Fertigstellung des Versuchsaufbaus, Bereitstellung der Messtechnik

2 = Meilenstein 2 = Abschluss des Tierversuchs

3 = Meilenstein 3 = Abschlussbericht



## Literatur

Benson, E.R., G.W. Malone, R.L. Alphin, M.D. Dawson, C.R. Pope und G.L. Van Wicklen (2007): Foam-based mass emergency depopulation of floor-reared meat-type poultry operations. Poultry Science 86, 219-224.

Benson, E.R., R.L. Alphin, M.D. Dawson und G.W. Malone (2009): Use of water-based foam to depopulate ducks and other species. Poultry Science 88, 904-910.

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

Dambeck, H. (2010): Nobelpreisträger warnt vor weltweitem Helium-Mangel. Spiegel Online, 24. August 2010. Adresse: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/edelgas-nobelpreistraeger-warnt-vor-weltweitem-helium-mangel-a-713535.html> , abgerufen am 25.03.2015.

Dawson, M.D., E.R. Benson, G.W. Malone, R.L. Alphin, I. Estevez und G.L. Van Wicklen (2006): Evaluation of foam-based mass depopulation methodology for floor-reared meat-type poultry operations. Applied Engineering in Agriculture 22 (5), 787-794.

Dodman, N.H. (1977): Observations on the use of the Wernberg dip-lift carbon dioxide apparatus for pre-slaughter anaesthesia of pigs. British Veterinary Journal 133, 71-80.

European Food Safety Authority (EFSA, 2013): Guidance on the assessment criteria for studies evaluating the effectiveness of stunning interventions regarding animal protection at the time of killing. EFSA Journal 11 (12), 3486.

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 Physiologica Scandinavica 130, 1-10.

Gregory, N.G., A.B.M. Raj, A.R.S. Audsley und C.C. Daly (1990): Effects of carbon dioxide on man. Fleischwirtschaft 70, 1173-1174.

Harris, P.D., und R. Barnes (2008): The uses of helium and xenon in current clinical practice. Anaesthesia 63, 284-293.

Machold, U., K. Troeger und M. Moje (2003a): Betäubung von Schweinen mit Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) bzw. Argon. Vergleichende Verhaltensstudie und Bestimmung humoraler Stressparameter. Fleischwirtschaft 83 (9), 139-142.

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

Machtolf, M., M. Moje, K. Troeger und M. Bülte (2013): Die Betäubung von Schlachtschweinen mit Helium und Kohlendioxid im Vergleich- Auswirkungen auf das Tierwohl sowie die Schlachtkörper- und Fleischqualität. *Fleischwirtschaft* 93, 118-124.

Mackowiak, B. (2011): Die Quellen des Kältetreibstoffs Helium versiegen. *Zeit Online*, 27. Oktober 2011. Adresse: <http://www.zeit.de/wissen/2011-10/edelgas-helium/komplettansicht> , abgerufen am 25.03.2015.

McKeegan, D.E.F., H.G.M. Reimert, V.A. Hindle, P. Boulcott, J.M. Sparrey, C.M. Wathes, T.G.M. Demmers und M.A. Gerritzen (2013): Physiological and behavioral responses of poultry exposed to gas-filled high expansion foam. *Poultry Science* 92, 1145-1154.

Nowak, B., T.V. Mueffling und J. Hartung (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, 290-298.

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

Raj, A.B.M., und N.G. Gregory (1996): Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress of induction of anaesthesia. *Animal Welfare* 5, 71-78.

Raj, A.B.M., S.P. Johnson, S.B. Wotton und J.L. McInstry (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. *The Veterinary Journal* 153, 329-339.

Raj, A.B.M., C. Smith und G. Hickman (2008): Novel method for killing poultry in houses with dry foam created using nitrogen. *The Veterinary Record* 162, 722-723.

Sparrey, J., D. McKeegan, M. Gerritzen und F. Withoos (2012): Delivering nitrogen gas to poultry sheds for emergency killing using high expansion foam. *Animal Welfare* 21 (S1), 155.

Sykes, W.S., und R.C. Lawrence (1938): Helium in anaesthesia. *The British Medical Journal* 2, 448-449.

Troeger, K. (2008): Tierschutzgerechtes Schlachten von Schweinen: Defizite und Lösungsansätze. *Tierärztliche Praxis* 36 (Suppl. 1), S34-S38.

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

Gesetze, Verordnungen, Sicherheitsdatenblätter:

EG-Sicherheitsdatenblatt (2013): Helium, verdichtet. Version 7.3, Linde Group.

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

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