

Aus dem Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der
Veterinärmedizin
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
(Departmentsprecher: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Michael Hess)

Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln
(Leiterin: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Karin Schwaiger)

**Vergleich der Betäubungsverfahren unter Anwendung von Gas bei der Schlachtung von
Schweinen unter Berücksichtigung der Betäubungswirkung und Auswirkungen auf die
Fleischqualität**

DIPLOMARBEIT

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von Daniela Müller

Wien, im Februar 2022

Betreuung: Ao. Univ.-Prof. Dr. med. vet. Peter Paulsen Dipl. ECVPH

Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin

GutachterIn:

Inhaltsverzeichnis:

	S.
1 Einleitung	1
2 Aufbau kommerzieller Betäubungsanlagen	4
2.1 Paternosterprinzip	4
2.2 Dip-Lift-System	5
2.3 Voraussetzungen an die Betäubungsgase	6
3 Auswirkungen des Gases auf die zu betäubenden Schweine	7
3.1 Beeinflussung des Stammhirns	7
3.1.1 <i>Die vier Phasen der Allgemeinanästhesie</i>	7
3.1.2 <i>Einteilung des Betäubungsablaufes in drei Zeitabschnitte</i>	8
3.2 Die Auswirkungen von CO ₂ auf das Atemzentrum	8
3.2.1 <i>Anatomische Lokalisationen des Atemzentrums</i>	8
3.2.2 <i>Luftnot – Abläufe im Körper</i>	8
4 Messungen der Stressreaktionen der Schlachtschweine	10
4.1 Subjektive Bemessung von Stress	10
4.2 Objektive Bemessung von Stress	11
4.2.1 <i>Blutparameter</i>	11
<i>a) Katecholamine</i>	11
<i>b) Cortisol</i>	12
<i>c) Laktat</i>	13
<i>d) Hyperkaliämie</i>	14
<i>e) Hämatokrit</i>	14
4.2.2 <i>Elektroenzephalogramm</i>	14

5.	Methoden zur Feststellung von Bewusstlosigkeit und Empfindungslosigkeit	15
5.1	Subjektive Beurteilung des Betäubungserfolgs hinsichtlich auf das Vorhandensein von Reflexen	15
5.1.1	<i>Stammhirnreflexe</i>	15
5.1.2	<i>Spinale Reflexe</i>	15
5.1.3	<i>Zeitspanne der Areflexie (stun-to-stick-Intervall)</i>	16
5.2	Objektive Beurteilung des Betäubungserfolgs	16
5.2.1	<i>Elektroenzephalogramm</i>	16
5.2.2	<i>Hot-Water-Spraying</i>	17
5.2.3	<i>Elektrokardiogramm</i>	17
5.3	Kontrolle des Betäubungserfolgs in Österreich laut EFSA Panel AHAW	18
5.3.1	<i>Drei Kontrollphasen des Betäubungserfolgs</i>	19
5.3.2	<i>Kontrollparameter innerhalb der drei Phasen</i>	20
6.	Fleischqualität	23
6.1	Qualitätsmerkmale von Muskelfleisch	23
6.1.1	<i>pH-Wert</i>	23
6.1.2	<i>Leitfähigkeit und Impedanz</i>	24
6.1.3	<i>Wasserbindungsvermögen</i>	25
6.1.4	<i>Tropfwasserverlust und Kochverlust</i>	25
6.1.5	<i>Fleischfarbe</i>	26
6.2	Mängel der Fleischbeschaffenheit	27
6.2.1	<i>PSE-Fleisch</i>	27
6.2.2	<i>DFD-Fleisch</i>	29
6.2.3	<i>Hampshire-Fleisch</i>	32
7.	Antragsstellung auf neue beziehungsweise modifizierte Betäubungsmethoden	33
8.	Betäubung mit verschiedenen Gasen und Gasmischungen	36

8.1	Gasbetäubung mit unterschiedlichen CO ₂ -Konzentrationen	36
8.1.1	<i>Korrelationen zwischen verschiedenen CO₂-Konzentrationen</i>	37
8.1.2	<i>Stresshormone und Reflexe</i>	37
8.1.3	<i>Aversionsverhalten</i>	37
8.1.4	<i>Fleischqualität</i>	38
8.1.5	<i>Risikobewertung</i>	39
8.2	Gasbetäubung mit Argon und Argon-CO ₂ -Gemischen	41
8.2.1	<i>Eigenschaften von Argon</i>	41
8.2.2	<i>Eigenschaften der Mischung aus Argon und CO₂</i>	41
8.2.3	<i>Auswirkungen von Argon auf die Atmung, Kreislauf und Gehirn</i>	42
8.2.4	<i>Betäubung mit reinem Argon</i>	42
8.2.5	<i>Betäubung mit Argon-CO₂-Gemischen</i>	43
8.2.6	<i>Aversionsverhalten</i>	43
8.2.7	<i>Verlängerte Expositionszeit</i>	43
8.2.8	<i>Fleischqualität</i>	44
8.2.9	<i>Positive Eigenschaften des Gases</i>	44
8.2.10	<i>Risikobewertung</i>	44
8.3	Gasbetäubung mit Stickstoff und Stickstoff-CO ₂ -Gemischen	45
8.3.1	<i>Eigenschaften von N₂</i>	45
8.3.2	<i>Anforderungen an das Gas</i>	46
8.3.3	<i>Auswirkungen von N₂ auf die Atemwege, Kreislauf und Gehirn</i>	46
8.3.4	<i>Aversionsverhalten</i>	47
8.3.5	<i>Verlängerte Expositionszeit</i>	48

8.3.6	<i>Fleischqualität</i>	48
8.3.7	<i>Risikobewertung</i>	49
8.4	Betäubung mit hoch-expansiven Stickstoff-gefülltem Schaum	49
8.4.1	<i>Schaumbetäubung bei Hühnern</i>	49
8.4.2	<i>Voraussetzungen an den Schaum</i>	49
8.4.3	<i>Eigenschaften des Schaums</i>	49
8.4.4	<i>Auswirkungen des N₂-Schaums auf die Atemwege, Kreislauf und Gehirn</i>	50
8.4.5	<i>Verlängerte Expositionszeit</i>	50
8.4.6	<i>Aversionsverhalten</i>	50
8.4.7	<i>Fleischqualität</i>	51
8.5	Gasbetäubung mit Helium	52
8.5.1	<i>Eigenschaften von Helium</i>	52
8.5.2	<i>Das Glockensystem</i>	52
8.5.3	<i>Auswirkungen des Gases auf den Körper</i>	54
8.5.4	<i>Verlängerte Expositionszeit</i>	54
8.5.5	<i>Aversionsverhalten</i>	54
8.5.6	<i>Fleischqualität</i>	54
8.5.7	<i>Risikobewertung</i>	55
9.	Tierschutzgerechtes Schlachten	56
9.1	<i>Österreich</i>	56
9.2	<i>Vergleiche mit anderen Ländern</i>	56
10.	Fazit	58

11.	Zusammenfassung	63
12.	Summary	64
13.	Literaturverzeichnis	65
14.	Abbildungsverzeichnis	76
15.	Tabellenverzeichnis	77

1. Einleitung

In unserer heutigen Gesellschaft spielt die allgemeine Thematik Tierwohl eine immer größer werdende Rolle. Vor allem die Haltung der Nutztiere und deren Schlachtung rücken stetig in den Vordergrund. Ein bedeutsamer Diskussionspunkt der Konsumgesellschaft stellt die Betäubung von Tieren bei der Schlachtung dar. Während im 19. Jahrhundert und davor die Schlachttiere durch Schlag auf den Kopf bzw. das Genick „gefällt“ wurden, wurden ab etwa 1900 neue Betäubungsverfahren entwickelt. Die Erkenntnis, dass das „Fällen“ primär eine Immobilisierung bewirkt und der Betäubungseffekt unsicher bis fehlend ist, und Initiativen von Tierschutzvereinen waren der Motor für Neuerungen (s.a. Paulsen 2001).

Die Pflicht zur Betäubung von Schlachtschweinen besteht in Deutschland seit 1933 (Nowak, 2002). Hierbei galten folgende Voraussetzungen an das Setzen der Bewusstlosigkeit: „sie muss unverzüglich ablaufen, sie muss tief genug sein, sie muss lange genug sein, sie muss direkt in den Tod durch Blutentzug übergehen und das Verfahren muss in seiner Anwendung sicher sein“ (Nowak, 2002).

Heute ist in der Europäischen Union [VO (EG) Nr. 1099/2009, Kapitel II, Artikel 3] vorgeschrieben, dass „bei der Tötung und damit zusammenhängenden Tätigkeiten,...die Tiere von jedem vermeidbarem Schmerz, Stress und Leiden verschont [werden]“.

Damit dies von statten gehen kann, muss das Tier vor der Schlachtung betäubt werden. Die genannte Verordnung legt je nach Tierart und Zweck der Tötung zulässige Verfahren fest und definiert „Schlüsselparamater“, die eingehalten werden müssen. Ausgenommen von der Notwendigkeit der Betäubung sind rituelle Schlachtungen (Artikel 13 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009, 2019). Damit rituelle Schlachtungen durchgeführt werden dürfen, muss das Personal richtig eingeschult werden.

Die Verwendung des Begriffs „Betäubung“ bedeutet dabei aber nicht, dass diese beim Schlachttier genauso abläuft wie eine Allgemeinanästhesie beim Menschen. Das heißt ein Sedativum wird verabreicht, darauf folgen die intravenöse oder inhalative Gabe eines Anästhetikums, wodurch sofort der Zustand der Bewusstlosigkeit eintritt. Man ist demnach bewusstlos, schmerzfrei und befindet sich im Zustand einer Areflexie.

Die Betäubung von Schlachtschweinen durch Kohlendioxid ist eine in der EU zulässige Methode, die zwar inhalativ abläuft, die aber nur bedingt mit einer Inhalationsnarkose beim

Menschen vergleichbar ist. In der Einleitungsphase unterscheiden sich diese beiden Anästhesien deutlich. Dass allerdings bei der Kohlendioxidbetäubung mehrere Tiere gleichzeitig betäubt werden können und der „menschliche Faktor“ nur eine untergeordnete Bedeutung hat, mindert bei diesen sozialen Tieren den Stress. Die etwa gleich bedeutende Betäubung durch Durchströmung des Gehirns mit elektrischem Strom bietet diese Vorteile nicht. In Österreich werden alleine über fünf Millionen Schweine geschlachtet (Statista, 2021).

Dabei werden mehr als die Hälfte der Tiere mit dem Gas CO₂ betäubt. Dies ist Anlass für Kontroversen. In einem Videofilm, den der „Verein gegen Tierfabriken“ (VgT) öffentlich zur Verfügung stellt, sieht man wie die Schweine deutliche Atemnot zeigen (VGT, 2018). Vor allem die Einleitungsphase des Gases wird als Tierschutz-relevant angesehen und läuft nach Ansicht von Tierschutzorganisationen nicht schmerzfrei ab. Die Tierschutzorganisation PETA versucht nun seit einigen Jahren die Abschaffung der Gasbetäubung mit CO₂ zu erreichen (Frankfurter Allgemeine, 2016).

Die Aktivitäten dienen durchaus der Aufklärung der Konsument:innen. Die Gesellschaft setzt sich immer mehr mit dem Thema Tierwohl in Bezug auf die Haltung, Betäubung und Schlachtung auseinander und es wird die Vorstellung einer idealen Betäubung und demnach die Illusion eines schmerzfreien Schlachtprozesses hinterfragt. Es besteht aber ein Defizit bei der Darstellung alternativer Betäubungsverfahren. Das würde den Blick auf Verfahren öffnen, die dieselben Vorteile bieten wie die Betäubung mit CO₂, jedoch mehr auf das Tierwohl bedacht ist. Alternative Betäubungsverfahren sollen sowohl kommerziell rentabel sein, als auch tierschutzgerecht ablaufen.

Da bei der Gasbetäubung das verwendete CO₂ auch negative Wirkungen hat, sollte am ehesten daran geforscht werden, welche anderen Gasmischungen für die Betäubung von Schweinen zur Verfügung gestellt werden können.

In der vorliegenden Arbeit soll nun eine umfassende Übersicht zur der Betäubung von Schlachtschweinen mit Gasen gegeben werden. Für die Erstellung dieser Übersicht wurde von aktuellen Gutachten der Europäischen Agentur für Lebensmittelsicherheit ausgegangen und die dort zitierte Literatur ausgewertet und um aktuelle Veröffentlichungen ergänzt. Dem Charakter dieser monographischen Arbeit entsprechend wurde eine Abwägung zu den Verfahren im Sinn einer Diskussion in die Kapitel zu den verwendeten Gasen integriert und ein Fazit angefügt. Diese Übersicht schließt nicht nur die verwendeten Verfahren ein, sondern auch die an den

Tieren zu beobachtenden oder messbaren Veränderungen und deren Bewertung im Hinblick auf Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit. Zusätzlich werden Aspekte der Fleischqualität berücksichtigt, da das Ziel der Schlachtung ja die Lebensmittelgewinnung ist und Betäubungsverfahren mit negativen Auswirkungen auf die Fleischqualität der Intention der Schlachtung zuwiderlaufen.

2. Aufbau kommerzieller Betäubungsanlagen

In den Schlachtbetrieben, in denen die Betäubung der Schweine mit Gas erfolgt, gibt es gegenwärtig zwei unterschiedliche Gondelsysteme.

2.1 Paternoster-Prinzip

Das Paternoster-System ist heutzutage das meist verwendete Gondel-Modell in Schweineschlachtbetrieben. Es ist ein Mehrgondel-System, was bedeutet, dass sich mehr als eine Gondel in der Anlage befindet. In diesen Gondeln werden die Schweine gruppenweise hineingetrieben. Man kann seinen Aufbau mit einem V-förmigen Riesenrad vergleichen. Dabei werden auf der einen Seite des Systems die Tiere in eine Gondel hineingetrieben und zeitgleich kommt es auf der anderen Seite des Modells zum Auswurf der betäubten Tiere (Abb. 1). Hierbei handelt es sich um ein kontinuierliches System (EFSA, 2004).

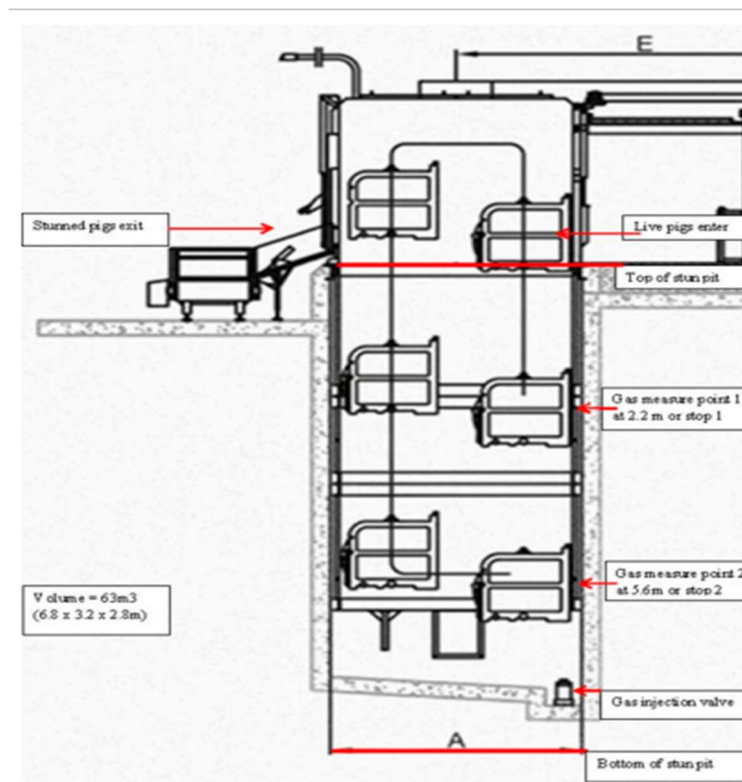


Abb. 1: Betäubungsschema nach dem Paternosterprinzip (aus: Atkinson et al., 2020).

Die Abbildung 1 verdeutlicht das Riesenradschema, das beim Paternoster-Prinzip Anwendung

findet. Hierbei wird gezeigt, dass die Eintriebsstelle nicht gleich Auswurfstelle ist. Zusätzlich zeigt das Bild die Zwischenstopps auf den unterschiedlichen Etagen, während des Betäubungsvorgangs.

Dabei entstehen während des Systems Pausen auf unterschiedlichen Etagen. Diese kurzen Pausen führen zu Verweilzeiten der Schweine auf $1/3$ und $2/3$ der Grubentiefe. Demnach werden nicht alle Schweine sofort der Höchstkonzentration des Gases ausgesetzt. Dies wird als Nachteil des Systems gewertet (Nowak, 2002).

Das Mehrgondel-System hat jedoch aus Sicht der Produktion einen klaren Vorteil, da durch die erhöhte Anzahl der Gondeln mehr Schweine zeitgleich betäubt werden können (EFSA, 2004). Die Voraussetzung für ein Paternoster-Prinzip ist, dass auf jeder Etage die Gaskonzentration hoch genug sein um eine schnelle Betäubung mit geringen aversiven Reaktionen zu gewährleisten (EFSA, 2004). Hierbei wird in den gegenwärtigen Betäubungsanlagen eine Konzentration von 80% CO₂ in der Tiefe der Grube und eine Expositionsdauer von 100 s sind durch die EU Verordnung EG Nr. 1099/2009 als Mindestmaße festgelegt. In der Tierschlachtverordnung Anlage 1 Nr. 7.4 wird beschrieben, dass die Tiere nach 30 s ihren ersten Zwischenaufenthalt erreichen müssen.

2.2 Dip-Lift-Modell

Ein weiteres Modell einer Betäubungsanlage stellt das Dip-Lift-System dar. Diese Anlage besteht aus einer Grube und nur einer Gondel, in der die Schlachtschweine gruppenweise hineingetrieben werden. Im Gegensatz zur Paternoster-Anlage arbeitet das Dip-Lift-Modell diskontinuierlich. In diesem System findet Eintrieb und Auswurf der Schweine an derselben Stelle statt. Es ist vergleichbar mit einem Personenaufzug. Dadurch, dass es keine Zwischenaufenthalte in der Grube gibt, werden die Schweine sofort an die tiefste Stelle des Grabens transportiert. Dort befindet sich die höchste Gaskonzentration (EFSA, 2004).

Einerseits können mit diesem System weniger Betäubungen zugleich durchgeführt werden, was aus wirtschaftlicher Sicht nachteilig ist. Nowak (2002) stellte fest, dass das Eingreifen des Menschen sich auf das Verhalten der Tiere auswirkt und einen zusätzlichen Stressfaktor darstellt. In seiner Arbeit erwies sich eine Dip-Lift-Anlage als schonenderes System für die Schlachtschweine im Vergleich zum Paternoster-Modell. Es gibt aber auch vollautomatisierte Paternoster-Systeme.

2.3 Voraussetzungen an die Betäubungsgase

In beiden Modellen gilt als Voraussetzung für die Gasmischung, dass diese die Fähigkeit besitzen muss, die Luft aus den Gondeln zu verdrängen.

Durch das Prinzip der Diffusion ist bekannt, dass das Gas vom Ort hoher Konzentration zum Ort niedriger Konzentration wandert, um einen Ausgleich zu schaffen. Kommt es durch unzureichende Gasmischung zu einer stark ausgeprägten Schichtenbildung, werden die Schweine unterschiedlichen Gaskonzentrationen ausgesetzt. Diese führen zu verschiedenen Betäubungserfolgen. Bei einigen Schweinen bleibt die Bewusstlosigkeit demnach aus (Dalmau et al., 2010).

3. Auswirkungen des Gases auf die zu betäubenden Schweine

Eine ideale Betäubung sollte tief und lang genug sein, die Wirkung sollte unverzüglich eintreten und die Betäubungsmethode sollte für das Personal eine gewisse Sicherheit gewährleisten können. Die Gase, die in Schweineschlachthanlagen verwendet werden, sollen zur Bewusstlosigkeit und Empfindungslosigkeit der Schlachttiere führen, um ein schmerzfreies Schlachten gewährleisten zu können. Die Geschehnisse, welche während der Betäubung bis zum Bewusstseinsverlust ablaufen, werden im Folgenden verdeutlicht. Hierbei wird näher auf das Gas CO₂ eingegangen (Nowak, 2002).

3.1 Die Beeinflussung des Stammhirns

Das Bewusstsein sitzt im thalamocorticalen Komplex und wird von der *Formatio reticularis*, welche sich im Stammhirn befindet, gesteuert. Die Voraussetzung, die man für ein Bewusstsein braucht sind demnach ein funktionierendes Stammhirn und eine störungsfreie Weiterleitung in die zuständigen kortikalen Zentren (Gregory & Shaw, 2000). Die Bewusstlosigkeit wird definiert als temporärer oder kompletter Funktionsverlust des Stammhirns. Es wird somit ein empfindungsloser Zustand gegenüber externen Stimuli erlangt. Das wichtigste ist hierbei die Elimination des Schmerzempfindens der Schweine, um eine tierschutzgerechte Schlachtung zu ermöglichen.

3.1.1 Die vier Phasen der Allgemeinanästhesie

Das Betäubungsgas CO₂ hat eine anästhetische Komponente, demnach durchlaufen die Schweine während der Gasbetäubung vier Phasen (Nowak, 2002). Diese vier Phasen werden auch bei einer Allgemeinanästhesie beobachtet. Diese sind das Analgesiestadium, darauf folgt das Exzitationsstadium, dann das Toleranzstadium und als letztes das Asphyxiestadium.

Das Analgesiestadium wird von den Schweinen noch bewusst wahrgenommen. Die zweite Phase ist bekannt für auftretende Exzitationen. Diese können sowohl bewusst als auch unbewusst stattfinden. In diesem Stadium sind die Reflexe der Tiere noch erhalten, jedoch meist schon verzögert. Es ist darauf zu achten, dieses Stadium so kurz wie möglich zu halten, um vermehrten Stress und Verletzungen der Tiere zu vermeiden. Das Toleranzstadium stellt für eine Allgemeinanästhesie die ideale Phase dar. Das Tier ist bewusstlos und reagiert physisch nicht

auf Stimuli. In der Phase der Asphyxie dekompenziert der Körper. Das Tier stirbt ohne Eingreifen des Menschen.

3.1.2 Einteilung des Betäubungsablaufes in drei Zeitabschnitte

Mit der Einleitung des Gases in die Gondel sind drei typische Abläufe zu beobachten (Nowak, 2002). In den ersten 5-7 s zeigen die Schweine keine Abwehr- oder Fluchtbewegungen. 22 s danach nehmen die Tiere das Gas wahr und versuchen zu fliehen. Dies wird als Anfang der zweiten Phase bezeichnet. Dabei sind die Tiere noch bei Bewusstsein. Im weiteren Verlauf des zweiten Abschnittes verlieren die Schweine das Gleichgewicht und fallen zu Boden. Dies wird durch die Anreicherung von CO₂ im Gehirn erklärt. In der letzten Etappe fällt der pH-Wert in der zerebrospinalen Flüssigkeit ab. Dies ist der Zeitpunkt, an dem die Schweine keinen Schmerz mehr empfinden können und vermehrt Exzitationen sichtbar werden können (Nowak, 2002).

3.2 Auswirkung auf das Atemzentrum

Dass Schweine auf das Betäubungsgas CO₂ mit Zeichen von Atemnot reagieren, ist bekannt. Dies äußert sich als Keuchen und gestreckte Kopf-Hals-Haltung nach oben. Wie jedoch durch erhöhte CO₂ Gehalte Atemnot ausgelöst werden kann, wird in den darauffolgenden Abschnitten näher beschrieben.

3.2.1 Anatomische Lokalisation des Atemzentrums

Das Atemzentrum, wie auch das Zentrum der Zirkulation, befindet sich in der *Formatio reticularis*. In deren ventralen Abschnitten liegt der inspiratorische Sektor. Rostral davon befindet sich der expiratorische Sektor. Ein weiterer Abschnitt im Stammhirn, der für die Atemregulation zuständig ist, wird erst dann aktiviert, wenn die Tiere kurz vor dem Tod stehen. Dessen Aktivierung äußert sich in Form einer Schnappatmung (Verhoeven et al., 2015).

3.2.2 Luftnot-Abläufe im Körper

Das CO₂-Gasgemisch wird in die Gondeln eingeleitet, in denen sich die Schlachtschweine befinden. Durch das Inspirieren des Gases werden die nasalen Schleimhäute gereizt. Auch in den unteren Atemwegen kommt es zu Irritationen der Mukosa (Llonch et al., 2012). Steigt die CO₂-Konzentration in der Luft an, hat das zur Folge, dass die Schweine vermehrt CO₂ einatmen.

Anfangs ist die Konzentration von CO₂ in den Alveolen niedriger als im Blut. Dadurch steigt der osmotische Gradient in der Blutbahn an. Um dieses Ungleichgewicht zwischen beiden Komponenten auszugleichen, diffundiert vermehrt CO₂ in das Blut. Die Konzentrationen von CO₂ im Blut werden durch Chemorezeptoren gemessen, welche sich im *Glomus caroticum* und im *Glomus aorticum* befinden. Wird eine erhöhte CO₂-Konzentration im Körper festgestellt, so wird dies als Hyperkapnie bezeichnet. Infolge dieser Hyperkapnie entwickelt sich das Gefühl einer Atemnot. Die Schweine reagieren auf den erhöhten CO₂-Spiegel im Blut mit einer vertieften und beschleunigten Atmung, einer sogenannten Hyperventilation. Gleichzeitig entsteht durch das Einatmen einer hohen CO₂-Konzentration eine Hypoxie (Verhoeven et al., 2015).

Das Resultat wird hierbei als eine „hyperkapnische Hypoxie“ bezeichnet (Verhoeven et al., 2016).

4. Messung der Stressreaktionen der Schlachtschweine

Stress kann sowohl subjektiv als auch objektiv bemessen werden. Um Stress subjektiv beurteilen zu können, wird das Aversionsverhalten der Schweine näher beobachtet. Zur objektiven Beurteilung werden Parameter aus dem Blut der Schweine bestimmt. Im Folgenden werden Stressanzeichen von Schweinen näher charakterisiert.

Response type	Groups of animal-based measures	Example	References
Behaviour	Vocalisations	e.g. number and duration, intensity, spectral components	EFSA 2005; Le Neindre et al., 2009; Atkinson et al., 2012; Landa, 2012; Llonch et al., 2012a, 2012b, 2013
	Postures and movements	e.g. kicking, tail flicking, avoidance	Jongman et al., 2000; EFSA, 2005; McKeegan et al., 2006; Gerritzen et al., 2007; Velarde et al., 2007; Kirkden et al., 2008; Svendsen et al., 2008; Dalmau et al., 2010; Atkinson et al., 2012; Landa, 2012; Llonch et al., 2012a, 2012b, 2013
	General behaviour	e.g. agitation, freezing	EFSA 2005; Landa, 2012
Physiological response	Hormone concentrations	e.g. HPA axis: cortisol, ACTH; sympathetic system: adrenaline, noradrenaline	Mellor et al., 2000; EFSA, 2005; Le Neindre et al., 2009; Coetzee et al., 2010; Landa, 2012
	Blood metabolites	e.g. glucose, lactate, free fatty acids	EFSA, 2005; Vogel et al., 2011; Landa 2012; Mota-Rojas et al., 2012
	Autonomic responses	e.g. heart rate, blood pressure, respiratory rate, body temperature, dilatation of the pupil, sweating	Martoft et al., 2001; EFSA 2005; Gerritzen et al., 2007; Rodriguez et al., 2008; Svendsen et al., 2008; Dalmau et al., 2010; Le Neindre et al., 2009; McKeegan et al., 2011; Atkinson et al., 2012; Landa, 2012; Llonch et al., 2012a, 2012b, 2013
Neurological response	Brain activity	e.g. EEG, ECoG	Raj et al., 1998; Martoft et al., 2001; Murrell et al., 2003; EFSA, 2005; Gibson et al., 2009; Johnson et al., 2012; Llonch et al., 2012a, 2012b, 2013

ACTH, adrenocorticotrophic hormone; HPA, hypothalamic-pituitary-adrenal.

Tab. 1: Subjektive und objektive Verfahren zur Bewertung von Stressreaktionen der Schweine während der Betäubung (aus: EFSA, 2013b)

Die Tabelle 1 stellt eine Übersicht an subjektiven und objektiven Verfahren dar, wie die Stressreaktionen der Schweine während der Betäubung gemessen werden können. Es erfolgt eine Einteilung in drei Kategorien: das Verhalten, die physiologischen Reaktionen und neurologische Parameter. Die einzelnen Punkte werden im Folgenden genauer ausgeführt.

4.1 Subjektive Bemessung von Stress

Um Stress subjektiv veranschaulichen zu können, wird das Aversionsverhalten der Schweine gegenüber dem Gas herangezogen. Unter einem aversiven Verhalten versteht man: „Die Neigung eines Tieres auf bestimmte Reize mit Abwehrverhalten zu reagieren“ (Machtolf & Troeger, 2012). Durch Gase und Gasgemische, die zur Betäubung von Schlachtschweinen führen, können aversive Reaktionen ausgelöst werden. Ein allgemein bekanntes Betäubungsgas,

welches zu einem Aversionsverhalten führt, ist CO₂. Es wurde durch Tierversuche verdeutlicht, dass Schweine schon ab einer CO₂-Sättigung von 30% Aversionen gegenüber dem Gas zeigen (Velarde et al 2000). Für die Gasbetäubung von Schlachtschweinen mit CO₂ gibt es ein gesetzlich festgeschriebenes Minimum. In den Schlachtbetrieben in der Europäischen Union beträgt die minimale CO₂-Konzentration 80% (Artikel 13 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009, 2009).

Die Aversionen der Schlachtschweine gegenüber CO₂ äußern sich auf verschiedene Art und Weise. Die meisten Schweine zeigen Flucht- und Rückzugsbewegungen, wenn sie mit dem Gas in Kontakt kommen. Einige Schweine weisen eine vertiefte Atmung mit offenen Maul und einer gestreckten Kopf-Halshaltung auf. Dies geht meist in ein Keuchen über. Keuchen wird jedoch nicht unbedingt als Merkmal einer Aversion betrachtet, sondern ist eine normale Reaktion auf die Atemnot, die durch das erhöhte CO₂ in der Luft induziert wird. Vokalisationen, wie Schreie, stellen dagegen klare Anzeichen eines Abwehrverhaltens dar. Vor allem schwankende Kopfbewegungen, die als Kennzeichen von Schwindel zu deuten sind, werden kurz vor der Bewusstlosigkeit ausgeführt.

Muskelzuckungen werden beim Verlust des Stehvermögens der Tiere beobachtet. Es wird in diversen Studien diskutiert, ob es sich hierbei um ein Anzeichen einer aversiven Reaktion handelt, da man sich nicht sicher ist, ob die Exzitationen der Muskulatur bewusst oder unbewusst, also schon im betäubten Zustand, stattfinden (Velarde, 2000).

4.2 Objektive Bemessung von Stress

Zur objektiven Bemessung von Stress werden endokrinologische und neurophysiologische Parameter herangezogen. Dazu benötigt werden Blutproben, welche aus frischen Stichblut, d.h. kurz nach dem Entblutestich, gewonnen werden.

4.2.1 Blutparameter

a) Katecholamine

Durch Stress- oder Schmerzsituationen wird die hypothalamo-hypophysär-adrenale Achse aktiviert. Infolgedessen kommt es zur Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin aus dem Nebennierenmark. Sowohl Adrenalin als auch Nordadrenalin gehören zu der Gruppe der

Katecholamine und werden auch als Stresshormone bezeichnet. Die Bestimmung der Katecholaminkonzentration aus dem Stichblut ist wichtig, um das Stresslevel der Schweine vor der eigentlichen Schlachtung bestimmen zu können, damit man sichergehen kann, dass es sich bei der vorliegenden Betäubungsart um eine Stress-arme und tierschutzgerechte Variante handelt. Man will überprüfen wie stark die Art der Betäubung sich auf das Stresslevel der Schweine auswirkt.

Zusätzlich beeinflusst Stress die Fleischqualität negativ, was auch aus kommerzieller Sicht ein Argument für eine Stress-arme Betäubung darstellt. Bisher wurden keine expliziten Korrelationen zwischen Katecholaminen und der Fleischqualität festgestellt (Nowak, 2006); indirekte Zusammenhänge werden weiter unten beschrieben.

Katecholamine sind schnell wirksam und haben eine kurze Halbwertszeit, das heißt sie sind gleich nach dem zugeführten Stressstimulus im Blut erhöht nachweisbar. Adrenalin und Noradrenalin binden an α 1-Rezeptoren. Geringere Mengen an Adrenalin binden jedoch auch an β 2-Rezeptoren. Dies führt in beiden Fällen zu einer Vasokonstriktion und infolgedessen zu einer Hypertonie.

Die Hormone des Nebennierenmarks steuern zusätzlich die Herzfrequenz und die Freisetzung von Glukose aus dem Glykogenspeicher. Der Körper geht in einen katabolen Prozess über. Der Referenzwertbereich von Adrenalin beträgt 0,16 nmol/L - 1,0 nmol/L und der von Noradrenalin 1,2 nmol/L – 2,0nmol/L. Nach einer CO₂-Betäubung weisen die Schweine eine 800-1000-fach erhöhte Katecholaminkonzentration im Blut auf (Nowak, 2002).

b) Kortisol

Ein weiteres Hormon, das in Stresssituationen vermehrt ausgeschüttet wird, ist Kortisol. Dieses Hormon wird von der Nebennierenrinde gebildet wird. Seine Konzentration im Blut wird durch die ACTH-Freisetzung aus der Adenohypophyse geregelt. Die Ausschüttung von Kortisol in Folge eines Stressstimulus findet erst nach einer geraumen Zeit statt (ca. 30 Minuten). Das stunto-stick Intervall, welches den Zeitraum zwischen Betäubung und Entblutungsstich beschreibt, dauert idealerweise nur 20 s. Auf Grund dessen ist der Kortisolgehalt im Blut, welches nach dem Setzen des Entblutungsschnittes entnommen wird, noch nicht erhöht (Nowak, 2002).

c) Laktat

Der Körper der Tiere reagiert auf die Stresssituation mit einem erhöhten Katabolismus. Die katabole Umstellung führt zu einem erhöhten Sauerstoffverbrauch und zu einer vermehrten Nutzung von Glucose. Durch metabolische Prozesse wird versucht dem Körper vermehrt Sauerstoff und Glukose zur Verfügung zu stellen. Die erhöhte CO₂-Konzentration in den Gondeln sorgt jedoch dafür, dass weniger Sauerstoff in die Körperzellen geleitet werden kann. Die Erklärung hierfür ist, dass CO₂ im Vergleich zu Sauerstoff eine höhere Bindungsaffinität zum Hämoglobin, das den Farbstoff in den Erythrozyten darstellt, aufweist. Durch die dabei entstehende Hypoxie kann der Körper die aeroben Stoffwechselvorgänge nicht mehr aufrechterhalten und stellt auf anaerobe Glykolyse um. Dabei wird als Endprodukt weniger Adenosintriphosphat (ATP) gebildet, als bei aeroben Prozessen. Normalerweise wird dem Körper die Energie durch den reibungslosen Ablauf des Zitratzyklus in Form von ATP bereitgestellt. Ein wichtiges Zwischenprodukt des aeroben und anaeroben Metabolismus ist Pyruvat. Pyruvat wird unter anaeroben Stoffwechselbedingungen durch die Enzymwirkung der Laktatdehydrogenase zu Laktat reduziert. Dieser Prozess findet in der Skelettmuskulatur des Tieres statt (Meyer, 2015).

Laktat wird über die Blutgefäße zur Leber weitergeleitet und in Glucose umgebaut. Ab dem Todeseintritt des Tieres ist die Funktion des Abtransports von Laktat nicht mehr gewährleistet. Folglich akkumuliert Laktat in der Skelettmuskulatur und führt zu einer Laktatazidose. Der pH-Wert in der Muskulatur sinkt durch die hervorgerufene metabolische Azidose (Adzitey & Nurul, 2011). Der Vorteil, den die Ansäuerung der Zellen mit sich bringt, ist, dass die Blutzellen leichter Sauerstoff an das periphere Gewebe abgeben können. Auf die Ansäuerung folgt reflektorisch eine Steigerung der Atemfrequenz. Da jedoch in der Betäubungsgondel eine hohe Konzentration an CO₂ vorhanden ist, kann das überflüssige CO₂ im Körper trotz Hyperventilation nicht abgeatmet werden, was eine respiratorische Azidose zur Folge hat (Steiner, 2019; Beausoleil & Mellor, 2015).

Der Laktatgehalt im Blut weist im Gegensatz zu den Katecholaminen eine – diesfalls negative - negative Korrelation zur Fleischqualität auf. Das heißt, je mehr Laktat im Blut nachweisbar ist, desto geringer fällt die Qualität des Muskelfleisches aus (Hambrecht et al., 2004).

d) Hyperkaliämie

Die Betäubung durch das Gas CO₂ führt zu weiteren Änderung des Metabolismus. Die Hyperglykämie, die Hyperkapnie, der erhöhte Laktatwert und der niedrige pH-Wert wurden in den oben genannten Passagen erörtert. Im Folgenden werden die restlichen veränderten Blutwerte erläutert, wie die Hyperkaliämie. Durch CO₂ ändert sich die intrazelluläre Natrium-Kalium-Konzentration. Kalium verhält sich nach einer Betäubung mit CO₂ biphasisch, das heißt zuerst steigt es an und später sinkt Kalium im Blut ab. Kalium wird intrazellulär durch Wasserstoffionen ersetzt, was zu einer Ansäuerung der Zelle führt. Durch die Wasserstoffionen verlangsamt sich die Impulsgeschwindigkeit in der Nervenzelle. Zudem ist eine hohe Kalium-Konzentration im Blut das Resultat einer Stresssituation (Becerril-Herrera, 2008).

e) Hämatokrit

Des Weiteren ist ein erhöhter Hämatokrit-Wert im Blutbild der Schweine auffällig. Dieser steigt zum einen wegen einer Dehydrierung, welche durch den Stress und das Fasten vor der Schlachtung verursacht wird und zum anderen durch Kontraktionen der Milz, die durch den erhöhten Sympathikotonus ausgelöst werden. Die verstärkte Arbeit des Sympathikus kommt durch die Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin zustande. Durch die Milzkontraktionen werden vermehrt rote Blutkörperchen entlassen. Folglich steigt der Hämatokrit (Jain, 1993).

4.2.2 Elektroenzephalogramm

Das Elektroenzephalogramm (EEG) stellt eine Methode dar, den Stress der Tiere objektiv zu messen. Hierbei werden die Gehirnströmungen registriert und ausgewertet. Demnach kann eine Aussage über das Stressempfinden der Schweine getroffen werden (Nowak, 2002). Eine genauere Beschreibung findet sich im nächsten Kapitel.

5. Methoden zur Feststellung von Bewusstlosigkeit und Empfindungslosigkeit

Der Erfolg der Betäubung kann ebenfalls subjektiv und objektiv bewertet werden. Subjektive Erfolgsnachweise stellen jene Reflexe der Schlachtschweine dar, die nach der Betäubung eigentlich abwesend sein müssten. Zur objektiven Bewertung der Bewusstlosigkeit werden Bemessungen mit unterschiedlichen Geräten herangezogen. Im diesem Kapitel werden beide Methoden genauer beschrieben.

5.1 Subjektive Beurteilung des Betäubungserfolgs hinsichtlich auf das Vorhandensein von Reflexen

„Reflexe sind automatisierte stereotype Bewegungen, die das Ergebnis eines Stimulus sind“ (Verhoeven et al., 2015). Dabei werden Stammhirnreflexe und spinale Reflexe unterschieden.

5.1.1 Stammhirnreflexe

Zu den Stammhirnreflexen gehören der Palpebralreflex, der Kornealreflex, der Nasenscheidewandreflex und der Pupillarreflex. Die wichtigsten und am besten überprüfbaren Reflexe sind der Korneal- und der Nasenscheidewandreflex. Diese Reaktionen fallen in einigen wenigen Fälle auch im bewusstlosen Zustand positiv aus. Der Kornealreflex ist der letzte Reflex, der durch die betäubende Wirkung des CO₂ verschwindet und der erste Reflex, der bei Erreichen des Bewusstseins wiederkehrt (Dugdale, 2010).

5.1.2 Spinale Reflexe

Reflexe, die auf Rückenmarks-Ebene ablaufen, werden als spinale Reflexe bezeichnet. Damit werden Extension und Flexion der quergestreiften Muskulatur bezeichnet (Carlson, 2007 zitiert nach Verhoeven et al., 2015). Diese können jedoch auch als Exzitationen gewertet werden. Es wird noch diskutiert, ob Exzitationen im bewussten oder unbewussten oder sogar in beiden Zuständen stattfinden können.

Demnach ist die Anwesenheit bzw. Abwesenheit von spinalen Reflexen ein fraglicher Marker, um den Betäubungserfolg der Schweine zu überprüfen. Der Flexorreflex wird in der gegenwärtigen Praxis am häufigsten kontrolliert (Verhoeven et al., 2015).

Die Idealvorstellung wäre, vor dem Entblutestich eine Areflexie zu erzeugen, um eine tierschutzgerechte Schlachtung zu erzielen.

5.1.3 Zeitspanne der Areflexie (stun-to-stick Intervall)

Der Zeitraum, in welchem die Tiere keine Reflexe aufweisen dürfen und es zu keinem Verlust ihrer Bewusstlosigkeit führen sollte, wird als stun-to-stick-Intervall bezeichnet. Das Intervall beginnt ab dem Einsetzen der Betäubung und dauert bis zum Entblutestich des Tieres an. Es wird versucht das stun-to-stick Intervall so kurz wie möglich zu halten. Bei einer Sättigung der Luft mit 80% CO₂ und einer Expositionszeit von 100 s wird ein stun-to-stick Zeitraum von 20 s vorgegeben. Dies ist mit einem Schwein pro Gondel möglich. Da die meisten CO₂-Gondelanlagen mehrere Schweine aufnehmen können, wird dieser Zeitraum meistens überschritten beziehungsweise besteht gar nicht die Möglichkeit diesen Zeitraum einzuhalten (Deutscher Tierschutzbund, 2012).

5.2 Objektive Beurteilung des Betäubungserfolgs

5.2.1 Elektroenzephalogramm (EEG)

Wie oben schon erwähnt kann ein EEG verwendet werden, um Stresssituation bei Schweinen während der Betäubung darzustellen. Es wird jedoch auch herangezogen, um festzustellen, ob sich die Schweine im Zustand der Bewusstlosigkeit befinden. Hierbei werden die Hirnströme der Schweine während des Betäubungsvorganges gemessen. Die Bewusstlosigkeit lässt sich im EEG durch hohe Frequenzen mit einer geringen Amplitude darstellen. Zusätzlich wird durch die Abwesenheit von sensorisch evozierte Potentiale die Bewusstlosigkeit der Schlachtschweine bestätigen. Durch ein EEG wird am zuverlässigsten die Bewusstlosigkeit und Empfindungslosigkeit der Tiere erkannt. Dies stellt eine objektive Methode zur Bestimmung der Wahrnehmungslosigkeit dar (EFSA, 2004; EFSA, 2006).

Dieses Verfahren bringt jedoch einige Nachteile mit sich, da es grundsätzlich nur für den Menschen konzipiert wurde. Wie die Elektroden am Kopf des Schweines platziert werden sollen, um ein sehr gutes Messergebnis zu erhalten, ist noch nicht bekannt. Es muss jedenfalls bei der Aufzeichnung eines EEGs dokumentiert werden an welcher Position des Schweineschädels oder an welchen Positionen des Gehirns die Elektroden platziert werden, um

ein standardisiertes Ergebnis zu erzielen. Zusätzlich müssen die Konfigurationen der Elektroden am Schädel dokumentiert werden, das heißt transhemisphär oder an derselben Hemisphäre des Gehirns (EFSA, 2013b).

Schweine weisen eine andere Hautdicke als Menschen auf. Auf diesen Punkt muss bei der Auswertung der Messergebnisse des EEGs gleichermaßen geachtet werden (EFSA, 2013b).

Zu guter Letzt muss beim Einsatz eines EEGs jede kleinste Bewegung vermieden werden, denn schon ein Wimpernschlag kann das Ergebnis verfälschen (Benson et al., 2012). Da während der Messungen am Schlachthof häufig Artefakte entstehen, kann diese Methode zur objektiven Überprüfung des Betäubungserfolgs nur unter experimentellen Voraussetzungen, das heißt unter Laborbedingungen, erfolgen. Der Geräuschpegel, der in den Schlachthäusern erzeugt wird, kann die EEG Ergebnisse verfälschen (EFSA, 2013a).

5.2.2 „Hot-water spraying“

Eine weitere Möglichkeit um die Wahrnehmungslosigkeit der Tiere zu überprüfen ist das Besprühen mit heißem Wasser, auch Hot-water spraying genannt. Dies ist eine Methode mit einer Spezifität von 99,9% und zugleich einer 100%igen Sensitivität.

Hierbei werden die Vordergliedmaßen, der Kopf und die Nase der betäubten Schweine mit heißem Wasser besprüht. Das Besprühen der Schweine findet 143-258 s nach der Betäubung statt. Die Tiere werden für 4-10 s mit 57-72°C heißem Wasser besprüht. Der Test wird bei folgenden Reaktionen des Tieres als positiv gewertet: Zuckungen der Gesichtsmuskulatur, Öffnen des Maules, der Versuch sich aufzurichten, isolierte Beinbewegungen und Lautäußerungen.

Dieses Verfahren findet in der Praxis trotz hoher Sensitivität und Spezifität keine Anwendung. Zum einen wegen des großen Aufwands und zum anderen aus Tierschutz-rechtlichen Gründen (Parotat et al., 2016). Zu diesen Gründen zählt, dass das heiße Wasser bei unzureichend betäubten Schweinen Schmerzen und Stress auslösen kann.

5.2.3 Elektrokardiogramm

Ein Elektrokardiogramm (EKG) kann zusätzlich zur Bestimmung der Bewusstlosigkeit und Empfindungslosigkeit eingesetzt werden. Es gibt lediglich nur eine vage Auskunft über den Zustand der Bewusstlosigkeit des Tieres (Tilley, 1992). Die Bedingungen, die in einem

Versuchslabor gegeben sind, können nicht mit den Bedingungen in einem Schlachthof verglichen werden. Der Geräuschpegel in einem Schlachthaus führt während der Aufzeichnung des EKG zu unterschiedlichen Artefakten. Durch diese Artefakte kann das Ergebnis des EKG nicht richtig bewertet werden. Folglich geben die Messungen nicht viel Aufschluss über den Betäubungserfolg der Schlachtschweine (Benson et al., 2012).

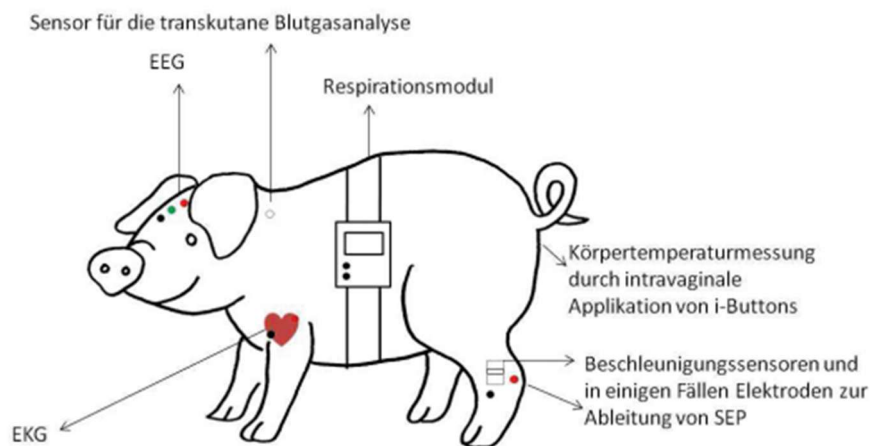


Abb. 2: Schematische Darstellung der Ausstattung des Tieres mit Messtechnik (aus Pöhlmann, 2018).

Die Abbildung 2 zeigt, welche Methoden zur objektiven Messung des Stresslevels und gleichzeitig für die Bemessung des Betäubungserfolgs der Schweine herangezogen werden können. Durch diese Ausstattung kann zugleich der Bewusstseinszustand des Schweines besser veranschaulicht werden. Dieses technische Equipment gibt nur unter Laborbedingungen richtige Ergebnisse an. Im Schlachthof treten vermehrt Störungen der Gerätesignale auf, was zu Unmengen an Artefakten führt. Folglich zu einem verfälschten Resultat.

5.3 Kontrolle des Betäubungserfolgs laut EFSA Panel AHAW

Um festzustellen, ob die Betäubung beim Schwein eine Wahrnehmungslosigkeit und eine Empfindungslosigkeit hervorgerufen, gibt es verschiedene Kontrollparameter. Grob kann man sie einteilen in: neurologische Indikatoren, Indikatoren, die sich auf das Verhalten des Schweines beziehen und körperliche Indikatoren (EFSA, 2013b).

Um den Betäubungserfolg aus neurologischer Sicht festzustellen, wird wie weiter oben schon beschrieben ein EEG verwendet. Diese Methode kann jedoch nur unter Laborbedingungen angewandt werden und nicht im Schlachthaus selbst. Kontrollparameter, die sowohl unter Laborbedingungen als auch unter Schlachthausvoraussetzungen, angewandt werden können, sind jene die sich auf das Verhalten, vor allem auf Verhaltensänderungen beziehen und auf physische Zeichen des Körpers, wie Reflexe. Demnach rücken diese beiden Indikatoren in den Vordergrund, um unter Schlachthofbedingungen den Betäubungserfolg zu kontrollieren (EFSA, 2013a).

Um den Erfolg einer Betäubung festzustellen, können die Schweine sowohl auf Zeichen der Bewusstlosigkeit untersucht werden als auch auf Lebenszeichen. Außerdem muss eine genügend große Anzahl an repräsentativen Schweinen auf Zeichen von Bewusstlosigkeit überprüft werden, um eine Aussage über den Betäubungserfolg des Betriebs treffen zu können (EFSA, 2016; Terlouw, 2016a).

Indicator	Sign of
Standing posture	Consciousness
Head or body righting reflex	
Voluntary vocalizations	
Spontaneous blinking	
Eye pursuit	
Response to the threat test	
Absence of corneal reflex	Unconsciousness or death
Absence of eyelash reflex	
Absence of rhythmic breathing	

Tab. 2: Hinweise auf den Zustand des Bewusstseins und der Bewusstlosigkeit (aus Terlouw, 2016b). Hierbei werden die Körper der betäubten Schweine sowohl auf Lebensanzeichen untersucht, als auch auf Zeichen der Bewusstlosigkeit beziehungsweise des Todes.

5.3.1 Drei Kontrollphasen des Betäubungserfolgs

Die Überprüfung beginnt mit Phase 1. In dieser Phase wird der Betäubungserfolg kurz nach der Ruhigstellung des Tieres kontrolliert. In Phase 2 wird der Erfolg der Betäubung bis zum Entblutungsstich und in der letzten Phase, Phase 3, wird der Betäubungserfolg während des Entblutens der Schweine überprüft (EFSA, 2013a).

5.3.2 Kontrollparameter innerhalb der drei Phasen

Laut Studie der EFSA Panel AHAW sind die sensitivsten und gleichzeitig am besten durchführbaren Kontrollparameter des Betäubungserfolgs in Phase 1: der schlaffe Muskeltonus und die aussetzende Atmung. Diese können auch aus einer gewissen Entfernung gut beobachtet werden. Weniger gut durchführbar, jedoch sehr sensitiv ist die Überprüfung des Kornealreflexes. Parameter, die weniger sensitiv und gut durchführbar sind, sind der Palpebralreflex, Augenbewegungen, Verlust der Standfähigkeit und spontanes Blinzeln – vergleiche Abbildung 3a (EFSA, 2016).

In Phase 2 gilt die Prüfung auf Muskeltonus, die aussetzende Atmung und die Lautäußerung (hiermit gemeint sind Schreie) als sensitive und leicht durchführbare Methoden zur Überprüfung der Bewusstlosigkeit – vergleiche Abbildung 3b.

In der letzten Phase wird wie in Phase 1, der Muskeltonus und aussetzende Atmung als Erkennungsmerkmal für eine erfolgreiche Betäubung hinzugezogen. Hinzuzufügen ist, dass der Betäubungserfolg am genauesten kontrolliert wird, wenn man die Schweine nicht auf Bewusstlosigkeit überprüft, sondern eher auf Zeichen achtet, die darauf hinweisen, dass sie ihr Bewusstsein gerade wiedererlangen, sogenannte Lebensanzeichen – vergleiche Abbildung 3c (EFSA, 2016).

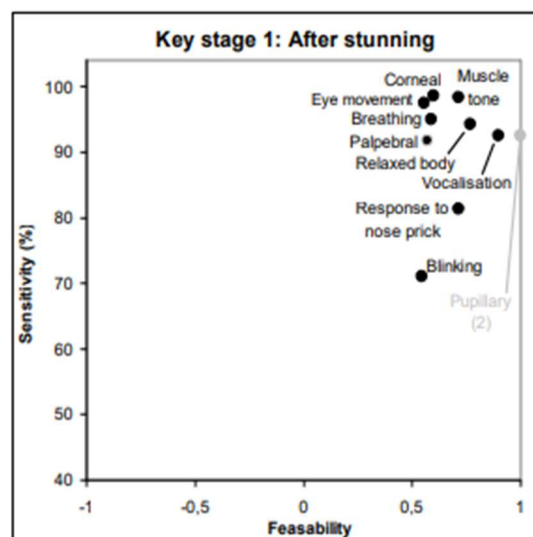


Abbildung 3a: Kontrollparameter zur Überprüfung des Betäubungserfolgs und ihre Wirksamkeit: direkt nach der Betäubung (aus EFSA, 2013)

Die Abbildung 3a zeigt im rechten oberen Eck die Kontrollparameter, die direkt nach der Betäubung des Tieres getestet werden sollen, um eine Aussage über den Bewusstseinszustand der Schweine zu erhalten. Im Vergleich zur Situation unmittelbar nach der Betäubung ändert sich die Sensitivität der Parameter dabei nicht, sondern die Durchführbarkeit unter praktischen Bedingungen.

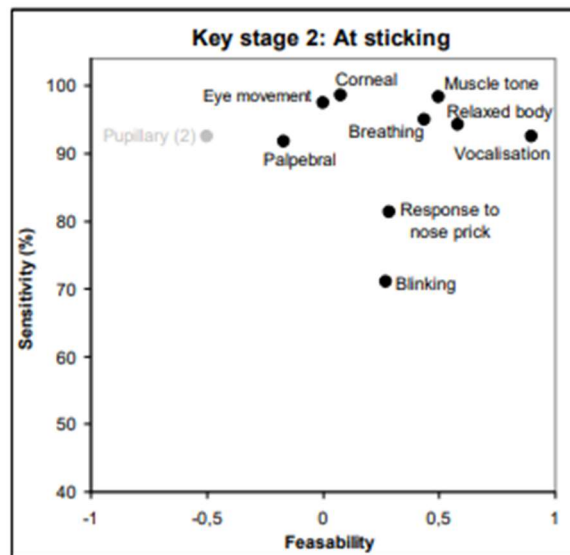


Abbildung 3b: Kontrollparameter zur Überprüfung des Betäubungserfolgs und ihre Wirksamkeit: während des Entblutungsstichs (aus EFSA, 2013).

In Abbildung 3b beziehen sich die Kontrollparameter auf die Phase 2, das heißt kurz vor Setzen des Entblutungsstichs.

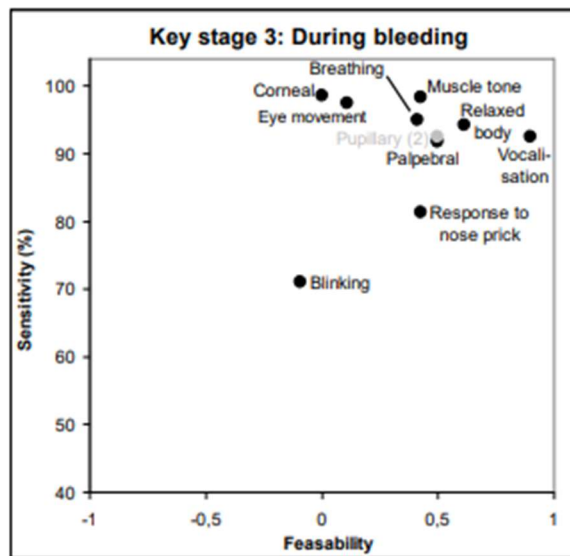


Abbildung 3b: Kontrollparameter zur Überprüfung des Betäubungserfolgs und ihre Wirksamkeit: während dem Ausbluten (aus EFSA, 2013, S. 32).

Abbildung 3b ist analog zu Abbildung 3a und 3b zu lesen. Hier wird die Phase 3 dargestellt, das heißt die sinnvollen Kontrollparameter während der Entblutung.

6. Fleischqualität

6.1 Qualitätsmerkmale von Muskelfleisch

Die Qualität des Muskelfleisches von Schweinen ist von folgenden Faktoren abhängig: pH-Wert, Impedanz/Leitfähigkeit, Wasserbindungs- und Wasserhaltekapazität, Tropfverlust/Kochverlust und Farbe. Im Folgenden werden diese Parameter genauer dargestellt.

6.1.1 pH-Wert

Die Konsequenzen von Stress und Schmerz während der Betäubung beim Schwein sind eine respiratorische Azidose und eine metabolische Laktatazidose. Im Gesamten werden die Körperzellen angesäuert. Das heißt, dass der pH-Wert im Körper sinkt. Der pH-Wert gibt den Säuregrad im Körper an (Becerril-Herrera et al., 2009). Er wird am *Musculus semimembranosus* (M. sem.) und am *Musculus longissimus dorsi* (M. long. dorsi) 45 min *post mortem* und 24 Stunden *post mortem* bestimmt. Die pH-Wert-Messung erfolgt am M. sem. 5 cm oberhalb des kaudalen Randes der Beckensymphyse im Winkel von 120° zur Symphyse“ und am M. long. dorsi. „im Zentrum des Querschnitts in der *pars thoracis* zwischen dem 13. und 14. *Processus spinosus*“ (Nowak, 2002).

Der M. long. dorsi besitzt einen großen Anteil an weißen Muskelfasern. Weiße Muskelfasern haben einen geringeren Myoglobingehalt als rote Fasern, verbrauchen vermehrt Glykogen und können diese auch anaerob verwerten. Bei einer Hypoxie schalten demnach die weißen Muskelfasern sehr schnell auf eine anaerobe Glykolyse um. Folglich sinkt in dieser Komponente des Skelettmuskels der pH-Wert rascher. Je schneller und tiefer der pH-Wert *post mortem* sinkt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um PSE-Fleisch handelt (P=pale, S=soft, E=exudative) (Nowak, 2002).

Durch die Eigenschaften von PSE-Fleisch sinkt die Qualität und dementsprechend der Wert des Muskelfleisches. Laut der deutschen Verwaltungsvorschrift VwFIHG gilt, dass ein pH-Wert kleiner oder gleich 5,6 im M. long. dorsi das Kriterium für PSE-Fleisch bei Schweinen ist. Für den M. sem. gilt hierbei ein pH-Wert unter 5,4. Die rasche pH-Wert Senkung geht auf eine beschleunigte Glykolyse zurück. Nach 24 Stunden wird der pH-Wert an den beiden Muskeln zum zweiten Mal gemessen. Ist der pH-Wert nun bei beiden Muskeln unter 5,4, so handelt sich hierbei um PSE-Fleisch. Der ideale pH-Wert für Muskelfleisch liegt zwischen 5,6-5,8 (Nowak,

2002).

Ein weiterer Faktor, der den Fleisch-pH-Wert beeinflusst, ist Stress. Je mehr Stress die Schweine kurz vor der Schlachtung ausgesetzt werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass das aus ihnen gewonnene Muskelfleisch in die Kategorie des PSE-Fleisches fällt. Durch den vermehrten Stress kommt es zu einer immensen Freisetzung von Katecholaminen, zu einer erhöhten Körpertemperatur und zu einer erhöhten Produktion von Laktat. Diese Ereignisse führen zum beschleunigten Abfall des pH-Wertes.

Das Halothan-Gen spielt ebenso eine Rolle bei der Entstehung von PSE-Fleisch.

Außerdem ist noch hinzuzufügen, dass der pH-Wert eine gewisse Saison-Abhängigkeit zeigt. Im Sommer fallen die Fleisch pH-Werte im Durchschnitt höher aus als im Frühling und Herbst (Van de Perre, 2010).

Durch den physiologischen pH-Wert Abfall *post mortem* und durch die Erhöhung der inneren Körpertemperatur bzw. Kerntemperatur des Fleisches bei gestressten Schweinen, kommt es zur Denaturierung von Muskelproteinen, insbesondere zur Destruktion der Myosinköpfechen. Der Prozess der Denaturierung findet vor allem während der Totenstarre statt. Demnach verliert das Fleisch vermehrt Flüssigkeit (Offer, 1991). Folglich sinkt die Qualität des Muskelfleisches (Hughes, 2014).

6.1.2 Leitfähigkeit und Impedanz

Die Leitfähigkeit wird beeinflusst durch den tiefen pH-Wert und die Proteindestruktion. Durch diese Ereignisse tritt die Flüssigkeit vom Intrazellularraum in den Extrazellularraum über. Dabei kommt es zum Ionenaustausch und zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit. Je höher die Leitfähigkeit im Muskelfleisch ist, desto besser ist die Fleischqualität. Der Faktor Alter beeinflusst die Leitfähigkeit und demnach die Qualität des Muskelfleisches. Je älter das geschlachtete Tier ist, desto weniger Muskelfasern hat es, aber desto höher ist der Durchmesser der Muskelfasern. Infolgedessen nimmt die Isolation der Muskelzellen ab, was zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit führt.

Der Impedanzwert P_y ist ein Maß für die Intaktheit von Zellmembranen. Je mehr Zellmembranen unbeschädigt vorliegen, desto höher ist der Impedanzwert des Fleisches (Moehrlein, 2007).

Leitfähigkeit und Impedanz werden 45 Minuten (min) und 24 Stunden (h) *post mortem* im M.

sem. und M. long. dorsi bestimmt. 24 h nach der Schlachtung sollte der P_y -Wert bei 50 liegen. Liegt der Wert jedoch unter 30, spricht dies für PSE-Fleisch (Nowak, 2002).

6.1.3 Wasserbindungsvermögen

Einer der wichtigsten Faktoren zur Bestimmung der Fleischqualität, ist die Wasserbindungskapazität. Diese gibt an wie viel Wasser das Fleisch beibehält (manchmal auch als Wasserhaltevermögen bezeichnet) bzw. aufnehmen kann (Wasserbindungsvermögen im engeren Sinn), während Kräfte von außen auf die Fleischprobe wirken. Diese Krafteinwirkung wird in Form von Schneiden, Zerdrücken, Aufwärmen, Kochen etc. auf das Fleisch ausgeübt.

Muskelfleisch besteht bis zu 80% aus Wasser. Davon sind 5% chemisch fest im Zellverband gebunden. Dies wird auch als Hydratationswasser bezeichnet. Der Rest des Wassers ist frei.

Um einen Überblick über die Wasserbindungskapazität des Muskelfleisches zu erhalten, werden 3 cm dicke Proben aus der Muskulatur entnommen und gekühlt. Bevor die Proben für 48 h in den Kühlschrank kommen, werden sie gewogen und in einen Beutel mit atmosphärischen Druck platziert. Nachdem die Fleischproben zwei Tage im Kühlschrank gelagert wurden, werden sie erneut gewogen. Die Gewichts Differenz gibt Auskunft über den Wasserverlust und somit über das Wasserbindungsvermögen (Nowak, 2002).

Eine weitere Möglichkeit die Wasserhaltekapazität zu bestimmen, ist die sogenannte Filterpapierpressmethode. Diese Messung findet 45 min *post mortem* statt. Dabei wird ein Fleischstück auf einem Filterpapier gepresst und das Verhältnis der Fläche des gepressten Fleischfilms zur Gesamtfläche der ausgetretenen Flüssigkeit berechnet. Liegt der Quotient unter 0,4, spricht das dafür, dass vermehrt auspressbares Wasser vorhanden und das Wasserbindungsvermögen vermindert ist (Pöhlmann, 2018).

Durch gehäufte Exzitationen während der Betäubung kommt es zu Schäden der Muskelzellmembranen, was ebenso eine verringerte Wasserhaltekapazität zur Folge hat (Nowak, 2002).

6.1.4 Tropfwasserverlust und Kochverlust

Die Flüssigkeit, die aufgrund des niedrigen Wasserbindevermögens verloren geht, wird als Tropfwasser bzw. Tropfwasserverlust bezeichnet. Der Flüssigkeitsverlust kommt durch die

Verkürzung der Sarkomerlänge und durch die Schrumpfung der Myofibrillen zustande (Hughes, 2014). Diese Geschehnisse finden *post mortem* statt. Die Verkürzung der Sarkomere wird reguliert durch die Muskeltemperatur und dem Rigor der Muskulatur.

Des Weiteren wird der Abstand zwischen dünnen und dicken Myofilamenten größer. Die Extrazellularräume vergrößern sich und fungieren als Tropfkanäle. Durch diese gelangt die Flüssigkeit im Fleisch an seine Oberfläche. Somit können sich die Wassermoleküle nicht an die Filamente binden und das Wasser wird an die Oberfläche geleitet (Hughes, 2014). Diese Flüssigkeit wird als Tropfwasser bezeichnet.

Der Tropfverlust wird zusätzlich vom das Alter des Muskelfleisches beeinflusst. Mit steigendem Alter besitzt die Muskulatur der Schlachtschweine eine bessere Wasserhaltekapazität. Außerdem schwellen die Muskelfasern im Alter an. Das macht das Muskelfleisch kompakter und lässt die Wasserverluste des Fleisches geringer ausfallen (Straadt, 2007).

Ein Tropfsaftverlust in Form von Kochverlust tritt während des Kochen des Muskelfleisches auf. Durch die hohen Temperaturen, die zum Kochen von Fleisch verwendet werden (zwischen 40°C bis 80°C) werden die Proteine in der Skelettmuskulatur denaturiert. Durch die Destruktion der Proteine fangen die Myofibrillen an sich zu verfestigen und zu kontrahieren (Hughes, 2014). Aus diesem Grund wird Flüssigkeit an die Fleischoberfläche transportiert. Dieses Ereignis wird als Kochverlust bezeichnet.

Wie hoch der Flüssigkeitsverlust am Ende ist, ist abhängig von der Umgebungstemperatur, der Muskelkerntemperatur, der Verpackungsart, vom Schlachtgewicht, der Genetik und von der Dicke des Fleisches. Ein dünnes Stück Fleisch hat im Gegensatz zu einem dickeren Stück Fleisch einen höheren Tropfsaftverlust, aufgrund der Oberflächen-Volumen-Verhältnisse.

Je länger die Verarbeitung des Muskelfleisches dauert, je länger das Fleisch gelagert wird und je dünner das Fleisch ist desto höher ist der Flüssigkeitsverlust. Der Tropfverlust wirkt sich negativ auf das Gewicht des Fleisches aus und dementsprechend negativ auf den Verkaufswert (Huff-Lonergan & Lonergan, 2005).

6.1.5 Fleischfarbe

Da sensorische Reize für den Konsumenten eine große Rolle beim Kauf von Fleisch spielen, gilt die Farbe des Fleisches auch als Kriterium für Qualität. Die Farbe wird vom Myoglobin-,

Oxymyoglobin- und Metmyoglobingehalt beeinflusst. Zusätzlich ist die Farbe des Muskelfleisches abhängig von der Rasse, Fütterung, Muskelpartie, Alter, Stress vor der Schlachtung, wie schnell der Schlachtkörper abgekühlt wird und vom Kontakt mit Sauerstoff. Die Beurteilung der Fleischfarbe wird beeinflusst vom Umgebungslicht und Betrachtungswinkel. Um eine einheitliche Beurteilung ermöglichen zu können, werden genormte Lichtarten und Blickwinkel verwendet. Die Commission Internationale de L'Eclairage bestimmen ein einheitliches System mit dem man durch spezielle Farbmaße sogenannte Normfarbwerte berechnet werden können. Dabei wird ein Betrachtungswinkel von 10° vorgesehen (Klettner & Stiebing, 1980).

Nach der Schlachtung haben die Verkürzung der Sarkomere, die Überlappung der Myofilamente und die daraus entstehende Kompaktheit der Myofibrillen eine Reduktion des Myoglobins zur Folge. Das Fleisch reflektiert dementsprechend rotes Licht. Die rote Farbe kommt durch das Oxymyoglobin zustande. Oxymyoglobin stellt die oxygenierte (reduzierte) Form des Myoglobins dar. Kommt das Fleisch über einen längeren Zeitraum mit Sauerstoff in Kontakt wird das Myoglobin oxidiert ($\text{Fe}_{2+} \rightarrow \text{Fe}_{3+}$), und es verblasst die Fleischfarbe. Sinkt der pH-Wert des Fleisches *post mortem* zu schnell und zu tief ab, wie bei PSE-Fleisch, kommt es zu einer höheren Lichtreflexion und zu mehr Streustrahlung. Die erhöhte Lichtreflexion ist auf die Schrumpfung der Muskelfaser zurück zu führen. Es entstehen größere Extrazellularräume. Diese sorgen für eine erniedrigte Wasserbindungskapazität und eine erhöhte Lichtreflexion (Hughes, 2014). Dadurch sieht das Fleisch für den Betrachter blass aus. Hierbei überwiegt die oxidierte Form vom Myoglobin, das Metmyoglobin, welches sich in einem bräunlichen Farbton widerspiegelt.

6.2 Mängel der Fleischbeschaffenheit

Die Qualitätsmängel von Schweinefleisch lässt sich in drei Gruppen unterteilen. Zum einem in blasses (**pale**), weiches (**soft**) und exsudatives (**exudative**) Fleisch, auch PSE-Fleisch genannt. Zum anderen in dunkles (**dark**), festes (**firm**) und trocken (**dry**) Fleisch, das sogenannte DFD-Fleisch. Als letztes wird zusätzlich das Hampshire Fleisch kurz erläutert.

6.2.1 PSE-Fleisch

Hierbei handelt es sich um die häufigste Qualitätseinbuße bei Schweinefleisch. Wie oben

erwähnt wird PSE-Fleisch als blasses, helles und weiches Fleisch mit einem erhöhten Wassergehalt auf der Oberfläche des Fleisches bezeichnet. Diese Art von Fleisch kommt bei den Konsumenten sensorisch nicht gut an und wird daher zur Weiterverarbeitung zu anderen Fleischprodukten genutzt.

Der Grund für die Entstehung von PSE-Fleisch ist vor allem das erhöhte Stresslevel der Schlachtschweine kurz vor der Schlachtung. Die Stressfaktoren beziehen sich auf den Transport der Tiere, die Wartezeit am Schlachthof, den Zutrieb zur Betäubungsanlage und der Betäubung selbst. Dieser Zeitraum sollte so stressfrei wie möglich für die Tiere gestaltet werden, ansonsten steigt das Risiko für PSE-Fleisch (Gispert et al. 2000, Maganhini et al. 2007, Barbut et al. 2008, Ludtke et al. 2010).

Eine Wartezeit von 2-3 h in den Buchten des Schlachtbetriebs wird dabei als ideal angesehen. In diesem Zeitraum können sich die Schweine vom Transportstress erholen. Wird die Zeit in den Wartebuchten verkürzt, so ergibt sich eine höhere Wahrscheinlichkeit von PSE-Fleisch (Oda et al. 2004). Zögert man die Wartezeit auf über drei Stunden heraus, so ist eine höhere Wahrscheinlichkeit von DFD-Fleisch gegeben (Gispert et al. 2000).

Eine weitere Ursache für PSE-Fleisch ist das Halothan-Gen. Dieses Gen ist ein Protein, das für die Regulation von Kalzium zuständig ist. Bei Schweinen mit diesem Gendefekt ist dieses Protein mutiert. Die Genträger sind dementsprechend Stress-anfälliger, als Schweine ohne eine solche Mutation.

Wie schon erwähnt führt Stress zu einer rasanten Zunahme des Laktatspiegels im Blut und folglich zu einer Laktatakkumulation in den Muskelzellen. Der pH-Wert sinkt schneller ab als bei stressfrei geschlachteten Schweinen. Wenn das Muskelfleisch nach 24 h einen pH-Wert von unter 5,6 entwickelt hat, kann dies mit hoher Sicherheit PSE-Fleisch zugeordnet werden (Nowak, 2002).

Die Ansäuerung und die erhöhte Kerntemperatur des Fleisches, die aufgrund der hohen Stressbelastung vor der Schlachtung entstanden sind, führen zur Denaturierung von Muskelproteinen. Die Flüssigkeit im Fleisch verteilt sich von extrazellulär nach intrazellulär, dementsprechend wird das Volumen des Fleisches größer.

Die reduzierte Wasserhaltekapazität sorgt beim Aufschneiden und Zusammenpressen des Fleisches für einen erhöhten Wasserverlust. Hierbei kommt die exsudative Komponente des Fleisches zusammen (Rosenvold & Andersen 2001).

Die Gründe für die blasse Farbe des Fleisches werden so erklärt: Durch die Proteindenaturierung in der Muskulatur sinkt das Wasserbindungsvermögen der Myofibrillen. Es bedingt eine Schrumpfung des Myofilamentgitters und die Flüssigkeit wandert von intrazellulär nach extrazellulär. Infolgedessen wird der Extrazellularraum größer. Der hohe Verlust an Wasser sorgt für eine vermehrte Streuung. Dementsprechend wird ein höherer Anteil des sichtbaren Lichtes reflektiert und nur ein geringer Anteil absorbiert. Für den Betrachter nimmt die Attraktivität des Fleisches durch die helle und blasse Farbe ab. Durch den tiefen pH-Wert wird die Oxidation der Haem-Pigmente gefördert. Hierbei werden Myoglobin (rot) und Oxymyoglobin (purpurrot) zu Metmyoglobin oxidiert. Durch das Metmyoglobin erscheint das Fleisch braun (Mancini & Hunt, 2005).

Eine Präferenz für die Entwicklung von PSE-Fleisch haben Muskeln mit hauptsächlich weißen Muskelfasern. Weiße Muskelfasern besitzen einen geringeren Myoglobingehalt als rote Muskelfasern. Sie haben aber dafür eine höhere Glukosespeicherkapazität als die roten Fasern. In Situationen mit hoher Stressbelastung (z.B. während der Betäubung) sind die weißen Muskelfasern dazu befähigt, die Glykogenolyse zu beschleunigen (Hughes, 2014). Dementsprechend erreicht das Fleisch nach der Schlachtung einen höheren pH-Wert und besitzt ein erhöhtes Risiko sich zu PSE-Fleisch zu entwickeln. Ein Muskel mit knapp 70% weißen Muskelfaseranteil ist der M. long. dorsi. Dieser wird bei Fleischqualitätsprogrammen immer einer Prüfung hinsichtlich der Qualitätsparameter unterzogen. Dabei wird der pH-Wert des Muskels zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten bestimmt, welche in den vorherigen Kapiteln genauer beschrieben werden.

6.2.2 DFD-Fleisch

Eine weitere Einbuße der Fleischqualität wird als DFD-Fleisch bezeichnet. Diese Art von Fleisch kommt meist durch chronischen Stress zustande. Im Gegensatz zum PSE-Fleisch, dessen Ursache akuter Stress darstellt. Der Auslöser von chronischem Stress ist vor allem das Haltungsmanagement der Schweine. Durch mangelnde Hygiene, Beschäftigungsmöglichkeiten oder falsche Fütterung leiden die Tiere dauerhaft an Stress. Um so eine Art von Stress zu vermeiden, müssen Maßnahmen im Sektor Management geschaffen werden. Die Chronizität von Stress wirkt sich negativ auf die Fleischqualität aus. Diese Stressart ereignet sich ebenso durch zu lange Transportzeiten und eine zu lange Wartezeit in den Buchten der Schlachthanlage.

Wartezeiten, die länger als drei Stunden andauern (Warriss et al. 2000), verursachen beispielsweise Rankämpfe durch die Neugruppierungen. Derartige Situationen führen zu Stress. Die Ereignisse im Fleisch, die nach dem Schlachtprozess stattfinden, werden im Folgenden näher erläutert.

Durch den Langzeitstress, dem die Schweine ausgesetzt sind, wird vermehrt Cortisol ausgeschüttet und Glucose abgebaut. Da der Glykogenspeicher schon vor der Schlachtung durch den chronischen Stress stark beansprucht wurde, steht dem Schwein nun während dem Schlachtprozess, welcher eine zusätzliche Belastung der Schweinen darstellt, weniger Glukose zur Verfügung. Das hat zur Folge, dass der pH-Wert *post mortem* nicht so weit absinkt wie bei hochqualitativen Fleisch. Hierbei sind die Muskeln mit einem hohen Anteil an roten Muskelfaser betroffen. Diese haben von vornherein geringe Menge an Glykogen gespeichert. Steigt der End-pH-Wert nach 24-48 h über 6,0, so handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um DFD-Fleisch (Viljoen et al. 2002, Kannan et al. 2002). Z.T. werden auch etwas höhere Werte als indikativ für DFD angegeben (Tab. 3).

Es werden weniger Proteine in der Muskulatur denaturiert. Die große Distanz zwischen pH-Wert und isoelektrischen Punkt ermöglicht dem Fleisch eine hohe Wasserbindungskapazität. Die Aminogruppe (NH_2) enthält aufgrund des erhöhten pH-Wertes keine positiven Ladungen. Dementsprechend ist die Anziehungen zwischen den Proteinen herabgesetzt. Infolgedessen kann mehr Wasser in den Intrazellularraum des Fleisches eingelagert werden (Warriss et al. 2000; Gardner et al. 2000). Bei Manipulation des Muskelfleisches, wie zum Beispiel beim Aufschneiden, setzt es nur wenig Flüssigkeit frei. Das Fleisch ist trocken. Dies wird bedingt durch die Schrumpfung des Myofilamentgitters, die nur noch in einem geringen Ausmaß oder gar nicht stattfindet.

Die hohe Wasserbindungskapazität führt zur Schwellung der Muskelfasern und zu einem kompakten Grundgerüst. Aufgrund der Kompaktheit des Fleisches ist weniger Sauerstoff in der Muskulatur vorhanden. Der Sauerstoff, der das Innere des Muskelfleisches erreicht, wird durch die hohe Zytochromaktivität sofort verbraucht. Diese hohe Zytochromaktivität kommt zustande aufgrund des hohen pH-Werts. Folglich nimmt der Mensch das Fleisch in einem violetten Farbton wahr. Der Grund der violetten Farbe ist das Pigment Myoglobin. An der Oberfläche des Fleisches befindet sich nur noch eine dünne Schicht von Oxyoglobin (rot), da nur ein geringer Anteil des sichtbaren Lichts reflektiert wird. Somit kommt die dunkle Farbe des

Fleisches zustande (Adzitey & Nurul 2011).

a.) normale Säuerung

	M. semimembranosus	M. longissimus dorsi
pH ₄₅	> 5,8	> 5,6
pH ₂₄	< 6,2	

b.) beschleunigte Glykolyse (PSE-Fleisch)

	M. semimembranosus	M. longissimus dorsi
pH ₄₅	5,8 oder niedriger	5,6 oder niedriger

c.) verzögerte oder unvollständige Glykolyse (DFD-Fleisch)

	M. semimembranosus	M. longissimus dorsi
pH ₂₄	6,2 oder höher	

Tab. 3: pH-Werte in Bezug auf die Fleischqualität (aus Pöhlmann, 2018).

In der Tabelle 3 wird veranschaulicht, ab welchen pH-Wert die unterschiedlichen Qualitätseinbußen wahrscheinlich sind. Hierbei wird zwischen dem *M. semimembranosus* und dem *M. longissimus dorsi* unterschieden.

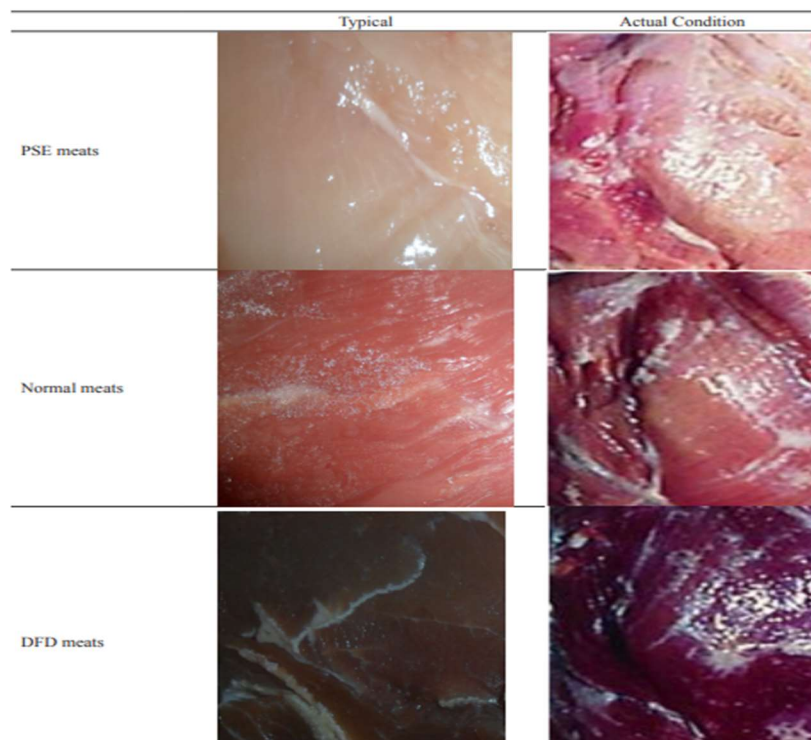


Abb. 4: Sensorische Qualitätseinbußen (aus Adzitey & Nurul 2011).

Die Abbildung 4 zeigt die sichtbaren Veränderungen des Muskelfleisches auf, die durch eine pH-Wert-Verschiebung vom Normwert resultieren.

6.2.3 Hampshire Fleisch

Diese Art von Fleisch weist einen erhöhten Tropfsaftverlust und Kochverlust auf. Dementsprechend handelt es sich hierbei um Fleisch mit einer geringen Qualität. Das Hampshire-Fleisch kommt durch einen Gendefekt in den Schlachtschweinen zustande.

Diese Tiere haben in ihrer Muskulatur vermehrt Glukose gespeichert. Dementsprechend sinkt der pH-Wert *post mortem* sehr tief. Der End-pH-Wert liegt tiefer als beim PSE-Fleisch. Die Senkung des pH-Wertes verläuft jedoch in normaler Geschwindigkeit, im Gegensatz zum PSE-Fleisch. Zusätzlich bedingt der Gendefekt eine erhöhte Denaturierungsrate (Lundström et al. 1996).

7. Antragstellung auf neue beziehungsweise modifizierte Betäubungsmethoden in der Europäischen Union

Die Idee einer neuen oder modifizierten Methode, die die Betäubung von Tieren hervorruft, muss einige Meilensteine überwinden, um später als etablierte Methode in der Europäischen Union angesehen werden zu können. Das heißt, dass der Antrag besondere Anforderungen erfüllen muss, um genehmigt zu werden. Das Dokument muss administrative Informationen zu den jeweiligen Verfahren enthalten. Es müssen detaillierte Berichte aller Studien, die im Zuge dieser Arbeit gemacht wurden, den Dokumenten hinzugefügt werden. Hiermit sind gemeint zum Beispiel Experimente, Statistiken, Methoden und Ergebnisse. Sowohl eine vollständige Checkliste als auch Begründungen für vertrauliche Informationen dürfen nicht fehlen. Man braucht zusätzlich, um die Daten teilen zu können, eine Einverständniserklärung vom Verfasser. Hierbei müssen die Methoden sowohl unter Laborbedingungen als auch unter Schlachthofbedingungen getestet und dokumentiert werden (EFSA, 2018). Weitere Voraussetzungen an die Formatierungen des Antrags sind Folgende: Das gesamte zusammengestellte Dokument muss auf Englisch verfasst werden. Die Größe des Schreibens darf 30 MB nicht überschreiten und es muss als PDF-Format an den Empfänger gesendet werden (EFSA, 2018). Die Dokumente werden beim EFSA Application Desk Unit zunächst auf Vollständigkeit und Plausibilität überprüft. Hier wird entschieden ob der Antrag bewilligt wird oder nicht. Bei Bewilligung des Antrags wird er dem EFSA AHAW (Panel of Animal Health and Animal Welfare vorgelegt. Diese kümmern sich um die Tiergesundheit und den Tierschutz. Hierbei muss das Dokument wiederum mehrere Stufen durchlaufen, bis die neue beziehungsweise modifizierte Betäubungsmethode als etabliertes Verfahren angesehen werden darf und kann (EFSA, 2018) (Abb. 5).

Bei der Auswahl und Durchführung der Methode muss darauf geachtet werden, dass sie der VO (EG) Nr. 1099/2009, Kapitel II, Artikel 3 entsprechen: „Die Tötung von Tieren dient nur dem menschlichen Gebrauch. Die Tiere müssen während der Tötung frei von Stress, frei von Schmerzen und frei von Leid sein. Grob gesagt, darf eine neue oder modifizierte Betäubungsmethode erst dann etabliert werden, wenn diese Bedingungen erfüllt werden“ (Artikel 13 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009, 2014, S. 9).

Das EFSA Panel AHAW führt zusätzlich die Risikobewertung für jegliche neue und

modifizierte Methoden zur Betäubung von Tieren durch. Es muss festgehalten werden, ob die Methode eine reversible oder eine irreversible Bewusstlosigkeit verursacht.

Hierbei muss im Antrag Folgendes aufgelistet werden: „die Frequenz korrekt betäubter Tiere, die Zeit, die vergeht bis die Betäubung vollständig wirkt, die Zeit, die das Tier bei einer reversiblen Betäubung braucht um sein Bewusstsein wieder zu erlangen, die Zeit, die nötig ist bis das Tier allein durch die Betäubung stirbt und das stun-to-stick Intervall“ (EFSA, 2018, S. 21).

Die aufgeführten Punkte müssen sowohl beim Einzeltier als auch in der Tiergruppe bewertet und dokumentiert werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist das Ausbluten. Es muss bewertet werden, wie lange die Spanne zwischen Entblutungsstich und Tod dauert.

Zusätzlich darf die Methodik, wie der Betäubungserfolg und der Todeseintritt überprüft wird, nicht fehlen. Meist weichen diese Methoden nicht stark von der Überprüfungsmöglichkeit der gegenwärtig verwendeten Betäubungsverfahren ab (EFSA, 2018).

Schließlich muss das Betäubungsverfahren tierschutzrechtlich gleichwertig oder sogar besser als das gegenwärtige Betäubungsverfahren sein.

Das Ziel ist es, die Problematiken, die bei einer Betäubung entstehen, zu lösen, damit die Tiere während der Betäubung und dem Entbluten frei von Stress, Schmerz und Leid sind.

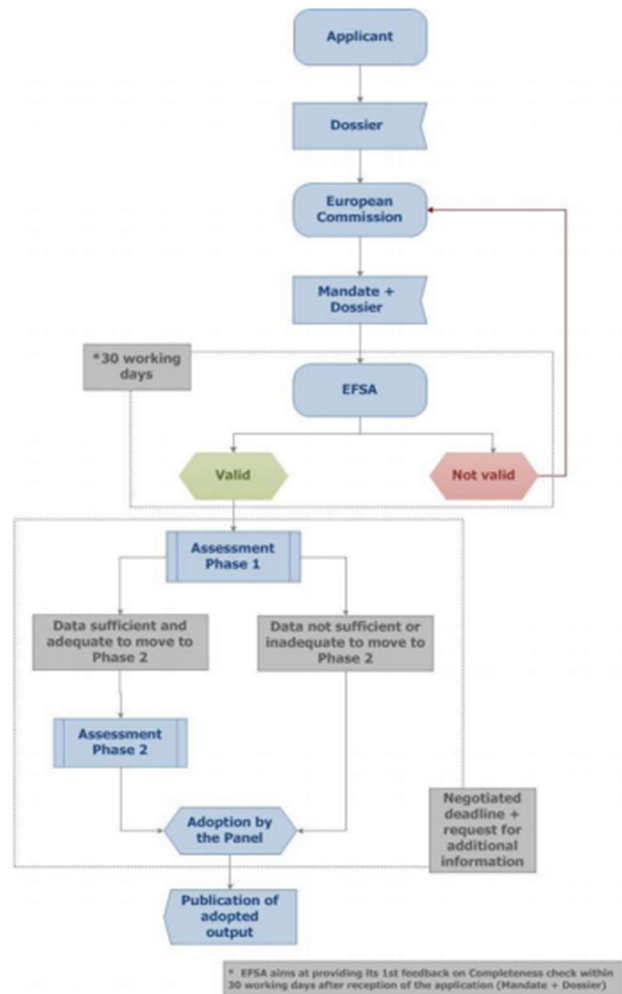


Abb. 5: Flowchart zur Antragsstellung eines neuen beziehungsweise modifizierten Verfahrens (EFSA, 2018).

Die Abbildung 5 zeigt durch welche Hürden ein Antrag laufen muss, um die Freigabe zu erstatten. Sowohl neue als auch modifizierte Anträge müssen diesen Prozess durchlaufen.

8. Betäubung mit verschiedenen Gasen und Gasmischungen

Die kommerzielle Betäubungsmethoden von Schlachtschweinen stellen die Betäubung mit der elektrischen Zange und die Betäubung mit Gas dar. Da die Gasbetäubung eine einfachere, rentablere, Tierschutz-rechtlich im Prinzip bessere Option widerspiegelt als die elektrische Betäubung, findet man gegenwärtig vermehrt Gasanlagen für die Betäubung von Schweinen. Hierbei wird das Gas CO₂ verwendet. Es wurden jedoch in verschiedenen Untersuchungen festgestellt, dass eine Betäubung mit weniger aversiven Gasen als CO₂ möglich ist. In den untenstehenden Abschnitten werden die verschiedenen Gase und Gasmischungen beschrieben und miteinander verglichen.

8.1 Gasbetäubung mit unterschiedlichen CO₂-Konzentrationen

Das Gas, das für die Betäubung von Schweinen gegenwärtig in Österreich und auch in Deutschland verwendet wird, ist CO₂. Die Gasbetäubung mit CO₂ wird als vorteilhafter gegenüber der elektrischen Betäubungsmethode angesehen. Der Grund hierfür ist, dass die Schweine durch die mechanisierten Treibgitter und durch die Grube mit den Gondeln weniger Kontakt zum Menschen haben. Schweine, die im Schlachthof weniger Berührungspunkte mit dem Menschen haben, besitzen ein deutlich niedrigeres Stresslevel. Zudem werden die Tiere gruppenweise in die Gondeln getrieben. Da Schweine zu einer stark sozialen Tierart gehören, bietet ihnen die Gruppenbildung in den Gondeln, eine gewisse Sicherheit und ein gewisses Wohlbefinden. Auch auf Seiten der Finanzen bietet die Gasbetäubung in der Gruppe Vorteile. Es können dementsprechend mehrere Schweine auf einmal betäubt werden (EFSA, 2004).

Früher wurde behauptet, dass die Fleischqualität von Schweinen, die mit CO₂ betäubt wurden, besser ist als durch die Betäubung mit elektrischen Zangen. Diese Behauptung wird jedoch durch einige Studien widerlegt. In späteren Abschnitten dieser Arbeit wird genauer auf die Fleischqualität von elektrisch betäubten Schweinen und mit Gas betäubten Schweinen eingegangen.

Heutzutage wird für die Betäubung von Schweinen, wie Mastschweinen, Ebern und Sauen, eine Gaskonzentration von 80-90% CO₂ von der EFSA AHAW vorausgesetzt. Vorgegeben wird additional eine Expositionszeit von mindestens 100 s. Das stun-to-stick Intervall beträgt

insgesamt 45 s, das heißt, dass der Entblutungsstich höchstens 45 s nach dem Auswurf aus der CO₂-Anlage stattfinden muss (Artikel 13 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009, 2014). Bei der Gasbetäubung spielen die Gaskonzentrationen, die Expositionszeiten und das stun-to-stick Intervall eine große Rolle.

8.1.1 Korrelationen zwischen verschiedenen CO₂-Konzentrationen

Es wurden Vergleiche zwischen einer mit 80%igen und 90%igen CO₂-gefüllten Gasanlage getätigt. Dabei variierte man zwischen einem 70 und 100 s langen Expositionszeitraum, in dem die Tiere den Gaskonzentrationen ausgesetzt werden (C = CO₂; 80C und 70 s; 80C und 100 s; 90C und 70 s; 90C und 100 s). Es wurden Blutproben genommen, um das Stresslevel während der Betäubung bewerten zu können. Außerdem wurden die klinischen Parameter nach der Betäubung und die Fleischqualität miteinander verglichen (Nowak et al., 2006).

8.1.2 Stresshormone und Reflexe

Das Katecholaminlevel aus dem Blut der Schweine wurde bestimmt. Hierbei konnten keine ersichtlichen Unterschiede zwischen der Betäubung mit 80%igem und 90%igem CO₂, unabhängig von der Expositionszeit, festgestellt werden. Die Untersuchung der klinischen Parameter zwischen beiden Konzentrationen ergaben Unterschiede. Bezüglich Stammhirnreflexen zeigten 5,9% der betäubten Schweine nach 40-50 s einen positiven Kornealreflex bei einer Gasbetäubung von 90 und 100 s. Im Gegensatz dazu zeigten 66,3% der Schweine einen positiven Kornealreflex nach 40-50 s bei einer Gasbetäubung von 80C und 100 s. Wenn über 5% der betäubten Tiere einen positiven Korneal- oder Palpebralreflex aufweisen, spricht dies für eine unzureichende Betäubung. Hierbei muss die Ursache für den mangelhaften Betäubungserfolg gefunden werden (Nowak et al., 2006).

Die Reflexe, die zur Kontrolle des Betäubungserfolgs dienen, müssen kurz nach der Betäubung, während des stun-to-stick Intervalls und während des Entblutens überwacht werden.

8.1.3 Aversionsverhalten

In einer anderen Arbeit wurde das Verhalten der Schweine während der Betäubung mit einer 80%igen (80C) und 95%igen CO₂-Konzentration (95C) untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Tiere, die der 95C ausgesetzt werden, schon früher Aversionen gegenüber dem Gas

zeigten als Schweine, die nur einer 80C ausgesetzt wurden. Zusätzlich fielen die aversiven Reaktionen auf das Gas bei 95C stärker aus. Erst bei einer CO₂-Konzentration von unter 30% zeigen die Tiere kein aversives Verhalten mehr gegenüber dem Gas (Verhoeven et al., 2016).

8.1.4 Fleischqualität

Wenn die Qualität des Muskelfleisches miteinander verglichen wird, stellt man eine bessere Fleischqualität bei den Schweinen fest, die mit 90C betäubt wurden. Der pH-Wert des *M. semimembranosus* weist bei dieser CO₂-Konzentration einen pH-Wert von circa 5,6 auf. Liegt der pH-Wert des Fleisches zwischen 5,6 und 5,8, so handelt es sich um eine gute Fleischqualität. Bei der Gasbetäubung mit 80C und 70 s befindet sich der pH-Wert des Schinkens unter 5,6. Niedrige pH-Werte und eine geringe elektrische Leitfähigkeit sind Hinweise für PSE-Fleisch. Zusammenfassend kann gesagt werden: Je höher die Gaskonzentration von CO₂ und je länger die Schweine dem Gas ausgesetzt sind, desto besser ist der Betäubungserfolg und die Fleischqualität (Nowak et al., 2006). Zudem spielt das stun-to-stick Intervall eine wichtige Rolle. Je weiter das Intervall gewählt wird, desto höher ist das Risiko, dass die Schweine vor dem Tod ihr Bewusstsein wiedererlangen. Aber nicht nur niedrige CO₂-Konzentrationen, kurze Expositionszeiten und ein zu kurzes stun-to-stick Intervall führen zu Qualitätseinbußen im Schweinefleisch, sondern auch die Methodik, wie das Tier betäubt wird. Es wird hierbei auf die elektrische Betäubung hingewiesen.

Die Meinung, dass bei der elektrischen Methode mehr Fleischmängel beobachtet werden als bei einer Betäubung mit Gas wurde 2021 durch erneute Forschungen widerlegt (Terlouw et al., 2021a). Die Resultate dieser Studie zeigten, dass die Gasbetäubung mit CO₂ und CO₂-Gemischen zu einem stärkeren pH-Wert Abfall im *M. longissimus dorsi* führt als bei einer Betäubung mit elektrischen Zangen (s.a. Tab. 4). Dementsprechend steigt der Tropfsaftverlust durch die verringerte Wasserhaltekapazität. Der pH-Abfall und die Verluste des Fleischwassers sind jedoch so gering, sodass gesagt werden kann, dass die beiden Betäubungsmethoden hinsichtlich der Fleischqualität keine Unterschiede aufweisen.

Es wird gegenwärtig behauptet, dass durch die elektrische Betäubung eine minimal bessere Fleischqualität resultiert (Verlarde et al., 2000; Channon et al., 2003; Marcon et al., 2019). Die Qualität des Muskelfleisches wird eher durch Stresssituationen vor der Schlachtung beeinflusst, aber vor allem durch den Umgang mit den Tieren (Terlouw et al., 2008).

Variables	Baseline levels n = 159	Stunning with CO ₂ n = 247	Stunning electrically n = 252
	Mean ± SEM	Mean ± SEM	Mean ± SEM
Blood pH ^a	7.43 ± 0.006 ^a	6.93 ± 0.006 ^c	7.14 ± 0.007 ^b
P _{CO₂} (mm Hg)	58.03 ± 0.42 ^b	96.39 ± 0.93 ^a	53.04 ± 0.63 ^c
P _{O₂} (mm Hg)	32.02 ± 0.57 ^a	27.55 ± 0.58 ^b	27.48 ± 0.52 ^b
Na ⁺ (mmol/L)	141.57 ± 0.17 ^b	140.64 ± 0.67 ^b	146.13 ± 0.47 ^a
K ⁺ (mmol/L)	5.40 ± 0.03 ^c	14.20 ± 0.14 ^a	9.91 ± 0.13 ^b
Ca ⁺⁺ (mmol/L)	1.27 ± 0.006 ^c	1.45 ± 0.006 ^a	1.29 ± 0.005 ^b
Glucose (mg/dL)	76.57 ± 0.44 ^c	201.49 ± 4.41 ^a	184.98 ± 3.55 ^b
Lactate (mg/dL)	33.10 ± 0.45 ^c	129.49 ± 0.57 ^a	124.67 ± 0.87 ^b
Haematocrit (%)	30.30 ± 0.37 ^c	51.67 ± 0.38 ^a	44.35 ± 0.32 ^b

^{a,b,c}In the same row are statistically different, Tukey ($P \leq 0.05$).
n, number of observed pigs; SEM, standard error of the mean.

Tab. 4: Vergleich zwischen CO₂-Gasbetäubung und elektrischer Betäubung bezüglich der Blutwertabweichungen während der Betäubung (aus Becerril-Herrera et al., 2009)

Die tabellarische Darstellung Nr. 4 zeigt, dass der Blut-pH-Wert, der während der elektrischen Betäubung gemessen wurde, höher ist, im Vergleich zur CO₂-Gasbetäubung. Analog hierzu stellt sich der Natrium-Wert im Blut dar. Die restlichen Werte wie p(CO₂), p(O₂), Kalium, Calcium, Glucose, Laktat und der Hämatokrit weisen einen niedrigeren Wert bei der Betäubung mit elektrischen Geräten auf.

8.1.5 Risikobewertung

Um eine erfolgreiche Betäubung gewährleisten zu können, muss man sich ein Bewusstsein für die Risiken des Betäubungsverfahrens schaffen. Eines dieser Risiken, das durch die Betäubung mit CO₂ entstehen kann, ist die Überdosierung des Gases (EFSA, 2020). Wie vorher erwähnt: Je höher die CO₂-Konzentration, desto schneller und stärker treten die Aversionen bei den Schlachttieren auf. Die nasale Schleimhaut wird zunehmend gereizt und das Gefühl der Atemlosigkeit tritt frühzeitig auf. Das Stresslevel der Schweine steigt ab dem Zeitpunkt, an dem die Tiere die Gondel betreten. Die genormten Konzentrationen von 80-90% CO₂ führen bei den Tieren zu weniger stark ausgeprägten Aversionen. Jedoch vergeht in der Regel mehr Zeit bis die Bewusstlosigkeit und die Empfindungslosigkeit bei den Schweinen eintritt als mit höheren Konzentrationen von CO₂. Dementsprechend zeigt sich das aversive Verhalten in einem weniger stark ausgeprägten Maße, aber für einen längeren Zeitraum. Dieser Zeitraum beträgt

ungefähr 30 s (EFSA, 2020; Abb. 6).

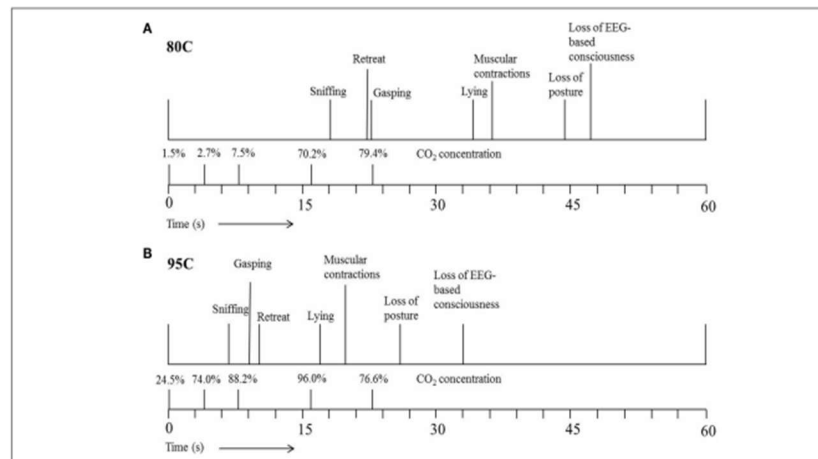


Abb. 6: Vergleich des Betäubungsablaufes mit einer 80%igen CO₂-Konzentration und mit einer 95%igen CO₂-Konzentration (aus Verhoeven et al., 2016)

In der Abb. 6 wird gezeigt, dass bei einer Betäubung mit 95%igen CO₂ die Reaktionen der Schweine zwar dieselben sind wie bei einer Betäubung mit 80%igen CO₂, jedoch laufen diese in einem kürzeren Zeitabstand, demnach schneller, ab.

Weitere Risiken, die eine CO₂ Betäubung mit sich bringen, sind eine zu kurze Expositionszeit und zu niedrige Gaskonzentrationen. Durch diese Gefahren beginnt der Betäubungserfolg zu leiden. Die Tiere sind entweder nach der Betäubung noch bei Bewusstsein beziehungsweise sie erlangen während des stun-to-stick Intervalls ihr Bewusstsein wieder. In beiden Fällen muss eine Nachbetäubung sichergestellt werden (EFSA, 2020).

Ein weiteres Problem, das auftreten kann, ist das Platzieren von zu vielen Schweinen in eine Gondel. Es ist laut EU Verordnung EG Nr. 1099/2009 vorgeschrieben, dass den Schweinen so viel Platz in den Gondeln zur Verfügung gestellt werden muss, dass jedes Tier sein Gleichgewicht verlieren und umfallen kann, ohne dass sich die Tiere während der Betäubung aufeinander stapeln. In einer überfüllten Gondel haben die Tiere weniger Platz. Dadurch kommen Rangeleien zustande, die wiederum zu Verletzungen, Frakturen und einem erhöhten Stresslevel führen. Außerdem werden die Schweine durch die überfüllten Gondeln nicht gleichmäßig betäubt. Die Rate des Betäubungserfolgs sinkt.

Zu geringe Temperaturen des Gases bergen ebenso ein Risiko. Ist das Gas zu kalt und zu trocken,

wird hierdurch die Inhalation des Gases erschwert und das Inspirium ist schmerzhafter. Dies führt zu stärkeren Reizungen der Schleimhäute und zu erhöhtem respiratorischen Stress. Um diese Gefahren zu vermeiden, sollten die Messgeräte regelmäßig gewartet und kalibriert werden (EFSA, 2020).

Wie oben schon erwähnt, müssen die Expositionszeit im Auge behalten werden. Betäubungskontrollen sollen regelmäßig von geschulten Personal an einer repräsentativen Anzahl an Schweinen in allen drei Phasen durchgeführt werden. Damit ist gemeint: kurz nach der Betäubung, während dem stun-to-stick Intervall und während des Entblutens. Des Weiteren muss die Temperatur des Gases stets überprüft werden (EFSA, 2020).

Diese Kontrollen sind nötig, um die Betäubung so tierschutzgerecht wie nur möglich zu gestalten.

8.2 Gasbetäubung mit Argon und Argon-CO₂-Gemischen

8.2.1 Eigenschaften von Argon

Das Element Argon (Ar) gehört zur Gruppe der Edelgase. Es wird auch als sogenanntes Inertgas bezeichnet. Inertgase sind reaktionsträge, das heißt sie beteiligen sich nur an wenigen Reaktionen. Sein Gehalt in der atmosphärischen Luft beträgt 0,01%. Es ist sowohl geruchslos als auch geschmackslos. Die Dichte von Ar beträgt 1,38kg/m³ und die Dichte der atmosphärischen Luft entspricht 1,225 kg/m³. Das Edelgas Ar ist demnach schwerer als Luft, genauso wie CO₂. Daraus folgt, dass das Dip-Lift-System und das Paternoster-System auch für Argon eingesetzt werden können.

8.2.2 Eigenschaften der Gasmixtur aus Argon und CO₂

Damit die Gasmische etabliert werden können, müssen sie folgende Kriterien erfüllen: Die Gasmischung muss die Fähigkeit besitzen, Sauerstoff aus der Grube zu verdrängen. Damit das Gemisch diese Aufgabe erfüllt, muss die Gasmischung eine höhere relative Dichte besitzen als die atmosphärische Luft. Zusätzlich muss das Gasmisch eine gewisse Stabilität aufweisen (Troeger et al., 2004b; Dalmau et al., 2010a, 2010b). Mit Stabilität ist gemeint, dass das Gas in allen Bereichen des Gondelsystems konstante Konzentrationen erreicht. Dabei darf es nicht von

O₂ verdrängt werden. Es muss darauf geachtet werden, dass alle Gase die Eigenschaft haben vom Ort hoher Konzentration zum Ort niedriger Konzentration zu wandern. Grundsätzlich soll die Gasmischung je Etage der Grube konstant sein. Erfüllt das Gasgemisch diese Eigenschaften nicht, kommt es zu einem unzureichenden Betäubungserfolg bei den Schlachtschweinen (Dalmau et al., 2010b).

Was aus dem Experiment letztendlich resultiert ist, dass die Einheitlichkeit der Gasgemische mit steigender CO₂-Konzentration steigt. Mit steigender CO₂ Beimengung steigt zusätzlich die Expositionszeit. Bei einem Gasgemisch von 70A30C liegt die Expositionszeit bei 15-18 s. Bei höheren CO₂-Konzentrationen steigt die Zeit der Exposition auf 17-25 s an (EFSA, 2013a).

8.2.3 Auswirkungen von Argon auf die Atmung, Kreislauf und Gehirn

Ar löst im Gegensatz zu CO₂ keine Hyperkapnie, sondern eine Hypoxie beziehungsweise Anoxie aus. Wie in den vorherigen Kapiteln schon erwähnt führt eine Hyperkapnie zu Atemnot. Bei der Betäubung mit Ar fällt die Stimulierung des zentralen Atemzentrums weg, das heißt die Schweine leiden an keiner Atemnot bevor die Bewusstlosigkeit eintritt (Raj & Gregory, 1995 & 1996; Machold et al., 2003a & 2003b).

Durch die Inhalation des inerten Gases kommt es zu einem reduzierten CO₂-Gehalt und O₂-Gehalt im Blut. Der partielle Sauerstoffdruck in den venösen Gefäßen sinkt bis auf 19mmHg. Dies resultiert in einer zerebralen Dysfunktion (Rosen & Morris, 1991; Huang et al., 1994).

Durch den CO₂-Mangel entsteht eine Depolarisation der neuronalen Zellen und es kommt zu einer intrazellulären metabolischen Krise. Infolgedessen beginnt das Absterben der Neuronen. Die Bewusstlosigkeit wird induziert durch die Blockade des N-Methyl-D-Aspartat-Rezeptors (NMDA-Rezeptor) (EFSA, 2004).

8.2.4 Betäubung mit reinem Argon

Ist das Betäubungsgas zu 90% mit Ar angereichert und befindet sich weniger als 2% Sauerstoff in dem Betäubungsgas, kommt es innerhalb von 13-18 s zur Bewusstlosigkeit und Empfindungslosigkeit. Worauf jedoch geachtet werden muss ist, dass sich aus dieser Betäubung ein verkürztes stun-to-stick Intervall resultiert (EFSA, 2020).

8.2.5 Betäubung mit Argon-CO₂-Gemischen

Weitere Betäubungsgase setzten sich aus einem Gemisch aus Ar und CO₂ zusammen. In einer Studie wurden 90%iges Ar (90Ar), ein Gemisch aus 85% Ar und 15% CO₂ (85Ar15C) und ein Gasgemisch aus 70% Ar und 30% CO₂ (70Ar30C) hinsichtlich ihrer Stabilität und Einheitlichkeit miteinander verglichen (Dalmau et al., 2010b).

Die maximale Konzentration von 30% CO₂ wurde deshalb gewählt, da aversive Verhaltensweisen bis zu dieser Konzentration nur in einem geringen Maß vorkommen.

8.2.6 Aversionsverhalten

Gasgemische aus Argon und CO₂ rufen keine reine Hypoxie hervor, sondern eher eine hyperkapnische Hypoxie. Eine Betäubung mit solchen Gasmischungen löst geringere aversive Reaktionen bei Schweinen aus als die kommerzielle Betäubung mit CO₂ (Llonch et al., 2012). Aversive Reaktionen äußern sich vor allem in Form von Fluchtverhalten, Rückzugbewegungen und Keuchen. Je höher die CO₂-Konzentrationen in den Gasgemischen ist, desto stärker zeigen die Schweine eine aversive Reaktionen gegenüber dem Gas. Eine Betäubung mit 90% Ar führt zu einem sehr geringen Abwehrverhalten verglichen mit den Ar-CO₂-Gemischen. Dies gilt auch für hervorgerufenen Zuckungen in der Muskulatur (Atkinson et al., 2020). Der Beweis, dass CO₂ der Faktor ist, der für das aversive Verhalten gegenüber der Gasbetäubung verantwortlich ist, ist hiermit gegeben.

8.2.7 Verlängerte Expositionszeit

Bei der Betäubung mit Ar oder Ar-CO₂-Gemischen muss eine längere Expositionszeit angewendet werden. Der Grund hierfür ist, dass Versuchsschweine nach einer Expositionszeit von 100 s zu schnell ihr Bewusstsein wiedererlangen. Um eine Nachbetäubung zu vermeiden, muss die Expositionszeit verlängert werden. Laut einer Studie sollte die Zeitspanne, in dem das Schwein einem inerten Gas, wie zum Beispiel Ar, Stickstoff (N₂) oder Helium (He), ausgesetzt wird, 310-453 s betragen um ein realistisches stun-to-stick Intervall zu erreichen (Llonch et al., 2012).

Wenn die Betäubung der Schweine mit Ar oder einem Ar-CO₂-Gemisch stattfindet, muss großes Augenmerk auf die Kontrolle des Betäubungserfolgs gerichtet werden.

8.2.8 Fleischqualität

Eine weitere wichtige Rolle spielt die Fleischqualität. Das Fleisch weist vermehrt Stellen mit petechialen Blutungen und Ekchymosen auf. Begründet können die vermehrten Blutungen durch eine verstärkte Exzitationsphase werden. Das ist die zweite Phase, die das Tier während einer Betäubung durchläuft. Bei einer Allgemeinanästhesie wird versucht, diese Phase so kurz wie möglich zu halten, da es zu vermehrten Muskelkontraktionen und Verletzungen kommen kann. Die petechialen Blutungen und Ekchymosen, die aus den verstärkten Muskelkontraktionen resultieren, beeinflussen die Fleischqualität im negativen Sinne. Die pH-Werte im *M. semimembranosus* weisen nach 30 min und nach 24 h noch höhere pH-Werte und eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit auf. Dies resultiert in einer Reduktion des Tropfsaftverlustes des Muskelfleisches. Das Betäubungsgas Ar beeinflusst trotz allem die sensorische Fleischqualität positiv (Troeger et al., 2003).

8.2.9 Positive Eigenschaften des Gases

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass Betäubungen mit Ar und Ar-CO₂-Gemischen für die Schlachtschweine weniger Aufregungen mit sich bringen als gegenwärtige übliche CO₂-Betäubungen.

Da Ar sowohl geruchlos als auch geschmacklos ist, bemerken die Tiere das Gas während der Einleitung in die Grube nicht. Auch die Reizung der nasalen Schleimhäute bleibt hiermit aus. Die Schweine zeigen ein abgeschwächtes Abwehrverhalten und sie empfinden weniger respiratorischen Stress. Der Betäubungserfolg tritt zwar schneller ein, hält jedoch nur für einen kurzen Zeitraum an.

Optisch leidet die Fleischqualität durch das Edelgas, jedoch gibt es keine weiteren sensorischen Nachteile.

8.2.10 Risikobewertung

Die Betäubung mit 98%igen inerten Gasen birgt einige Risiken. Dazu zählen zu hohe O₂-Konzentrationen. Liegen die O₂-Konzentrationen in der Grube nicht unter 2% so entsteht eine große Gefahr, dass die Schlachttiere nicht richtig betäubt werden und folglich eine Nachbetäubung stattfinden muss (Tab. 5). Eine O₂-Konzentration von weniger als 1% wird als Tierschutz-relevant angesehen. Der O₂-Gehalt in der Grube stellt einer der wichtigsten

Fehlerkomponenten dar (EFSA, 2020).

Variable	O ₂ Above 2%	O ₂ Below 2%	p-Value
Percentage of gasping % (n)	12.0% (18)	3.3% (21)	<0.001
Percentage of corneal reflex % (n)	16.7% (25)	2.9% (19)	<0.001
Percentage of rhythmic breathing % (n)	10.0% (15)	3.1% (20)	<0.001
Percentage of righting reflex % (n)	0.7% (1)	0% (0)	-
Percentage of inadequate stunning % (n)	19.3% (29)	4.8% (31 pigs)	<0.001

Tab. 5: Auswirkungen der O₂-Konzentration während der Betäubung auf die Schlachtschweine (aus Atkinson et al., 2020)

Die Tabelle 5 stellt die Relevanz der O₂-Menge im Betäubungsgas dar, bei einer hervorgerufenen hyperkapnische Hypoxie. Bei einer Sauerstoffsättigung von über 2%, sind Lebenszeichen der betäubten Tiere zu erkennen. Daraus leitet sich eine unzureichende Bewusstlosigkeit ab.

Weitere Gefahren stellen zu kurze Expositionszeiten und die Überfüllung der Gondeln dar. Lange Expositionszeiten sind bei der Betäubung mit Ar aber auch bei Ar-Gasgemischen besonders wichtig, da die Schweine dazu neigen, nach sehr kurzer Zeit wieder ihr Bewusstsein zu erlangen.

Die Temperatur von CO₂ darf ebenfalls nicht zu niedrig sein, um vermehrte Schleimhautirritationen zu vermeiden. Diese Risiken werden auch im vorherigen Kapitel bei der kommerziellen CO₂-Betäubung erwähnt.

Bei Gasmischungen mit einem inerten Gas und CO₂ kommt zusätzlich noch folgende Gefahr hinzu: zu hohe CO₂-Konzentrationen (EFSA, 2020). Denn je höher der CO₂-Gehalt in der Grube ist, desto stärker fallen die aversiven Reaktionen der Schweine aus. Nichts desto trotz bringen die Betäubung mit CO₂-Ar-Gemischen und die Betäubung mit reinem Ar Risiken mit sich.

8.3 Gasbetäubung mit Stickstoff und Stickstoff-CO₂-Gemischen

8.3.1 Eigenschaften von N₂

N₂ gehört nicht zu der Gruppe der Edelgase. Es zählt trotzdem zu der Gruppe der inerten Gase.

Die Dichte von N_2 beträgt $1,251 \text{ kg/m}^3$. Im Vergleich zur atmosphärischen Luft mit einer Dichte von $1,292 \text{ kg/m}^3$ und zu CO_2 mit einer Dichte von $1,9767 \text{ kg/m}^3$ ist N_2 leichter. Die atmosphärische Luft besteht zum größten Teil aus N_2 mit einem Anteil von mehr als 79%. Das Gasgemisch aus N_2 und CO_2 ist laut EU VO (EG) Nr. 1099/2009 als Betäubungsgas zugelassen. Dementsprechend ist seine Gewinnung kommerziell gesehen günstiger als jene der Edelgase Ar und He.

Da N_2 leichter als Luft ist, können nicht bei allen N_2 -Gasgemischen die gegenwärtigen Gruben mit ihren Gondeln verwendet werden, sondern nur ab N_2 -Konzentrationen von unter 85% (Dalmau et al., 2010b). Hierbei kann das gewöhnliche Dip-Lift-System oder Paternoster-System verwendet werden. Dementsprechend muss bei einem N_2 -Gehalt im Betäubungsgas von über 80% das System umgebaut werden.

8.3.2 Voraussetzungen an das Gas

In zwei Studien von Dalmau et al. (2010b) werden verschiedene N_2 -Konzentrationen hinsichtlich bestimmter Parameter miteinander verglichen: 98N (98% N_2), 92N8C (8% CO_2), 90N10C, 85N15C, 80N20C und 70N30C. Hinsichtlich der Gasstabilität gelten die gleichen Voraussetzungen an das Gas und das Gasgemisch wie bei den Edelgasen Ar und He. Zum einen muss die Gasmischung die Luft in dem Grubensystem verdrängen können und zum anderen muss die Mixtur stabil sein. Zusätzlich wird vorausgesetzt, dass die Konzentration des Gases auf jeder Ebene gleich bleibt ist. Damit wird eine Schichtenbildung vermieden und ein einwandfreier Betäubungserfolg ermöglicht. Es wurde festgestellt, dass die Stabilität der Gasmischungen mit steigendem CO_2 -Gehalt wächst. Des Weiteren wurde entdeckt, dass die Ar- CO_2 -Mischungen ein einheitlicheres Gasgemisch darstellen als andere Gasmixturen mit N_2 und CO_2 (Dalmau et al., 2010b), das heißt CO_2 und Ar bilden keine Schichten und lassen sich gut durchmischen.

8.3.3 Auswirkungen von N_2 auf die Atemwege, Kreislauf und Gehirn

Da N_2 zu den inerten Gasen zählt, löst es grundsätzlich eine Hypoxie aus. Es besitzt keine stimulierende Wirkung auf das Atemzentrum. Durch die induzierte Hypoxie wird die *Formatio reticularis* behindert. Infolgedessen sammelt sich Kalium, das sich vorher außerhalb der Zellen

befunden hat, nun intrazellulär an. Der Metabolismus des Schweinekörpers befindet sich an einem Tiefpunkt. Generell führt diese metabolische Krise zum Sterben neuronaler Zellen (EFSA, 2004; Rosen & Morris, 1991). Wie in den vorherigen Kapiteln schon erwähnt wurde, führt eine kommerzielle CO₂-Betäubung zu einer respiratorischen und metabolischen Azidose im Körper. Hierbei tritt die Bewusstlosigkeit schneller ein und dauert dementsprechend länger an. Die von den reaktionsträgen Gasen ausgelöste Hypoxie führt zu einer verkürzten Phase der Bewusstlosigkeit, das heißt die Tiere wachen schneller auf (Llonch et al., 2012). Durch die Zugabe von CO₂ zu dem inerten Gas kommt es, wie im oberen Kapitel schon beschrieben, zu einer hyperkapnischen Hypoxie.

8.3.4 Aversionsverhalten

Wenn man das Verhalten der Schweine hinsichtlich N₂ und der Mischungen mit CO₂ betrachtet, stellt man fest, dass die Aversionen mit steigenden CO₂-Konzentrationen wachsen. Wenn die Betäubungsgase Ar und N₂ miteinander verglichen werden, entdeckt man, dass die Schweine bei einer Betäubung mit N₂ ein stärkeres Fluchtverhalten und eine stärkere Atemproblematik zeigen (Dalmau et al., 2010a). Je mehr CO₂ sich in der Grube befindet, desto schneller wurde eine Hyperkapnie bei den Schweinen ausgelöst. Dementsprechend weisen die Tiere ein verstärktes aversives Verhalten auf. Dieselben Erkenntnisse erzielte man bei der Betäubung mit Ar-CO₂-Gemischen.

Bei einer Verwendung von 98%igen N₂ stellen die restlichen 2% des Gasgemisches O₂ dar. Dadurch, dass nur noch 2% O₂ in der Einatemluft vorhanden ist, wird bei den Schweinen das Gefühl der Atemnot viel später und abgeschwächter ausgelöst beziehungsweise ist gar nicht mehr vorhanden. Bei einer reinen N₂-Betäubung zeigen die Tiere weniger aversives Verhalten, als bei den Mischungen mit CO₂. Eine bloße Betäubung mit dem Gas N₂ ist zwar schmerzloser und mit weniger Stress verbunden als N₂-CO₂-Mischungen, aber schwerer durchführbar. Die Bewusstlosigkeit und Empfindungslosigkeit wird nach 15 s erreicht (Dalmau et al., 2010b; Llonch et al., 2012). Die Bewusstlosigkeit hält jedoch nur für einen kurzen Zeitraum an. Das heißt, das stun-to-stick Intervall ist auf nur wenige Sekunden reduziert.

Man stellt fest, dass die Tiere ihren Kornealreflex kurz nach der Betäubung wiedererlangen und das rhythmische Atmen zu früh wiederkehrt. Außerdem fällt auf, dass N₂ zu längeren und verstärkten Muskelexzitationen bei den Schlachtschweinen führt, welche sich negativ auf die

Fleischqualität äußern (Llonch et al., 2012).

8.3.5 Verlängerte Expositionszeit

Verwendet man bei einer reinen N₂-Betäubung oder einer N₂-CO₂-Betäubung denselben Expositionszeitraum wie bei der gegenwärtigen CO₂-Betäubung, würde dies zu einer unzureichenden Betäubung führen. Infolgedessen ist der Betäubungserfolg nicht gegeben. Wie bei der Betäubung mit Ar muss eine längere Expositionszeit eingeplant werden, um einen guten Betäubungserfolg zu gewährleisten.

Ob die Betäubung effektiv durchgeführt wurde, muss auf allen drei Ebenen (nach der Betäubung; beim Entblutestich; während des Entblutens) überprüft werden.

8.3.6 Fleischqualität

Selbstverständlich wird durch die Art des Gases auch die Fleischqualität beeinflusst. Durch die verstärkten Muskelkontraktionen, die durch das N₂ verursacht werden, werden bei der Fleischuntersuchung vermehrt petechiale Blutungen im Muskelgewebe der Schlachtschweine entdeckt (Velarde et al., 2000, 2001; Troeger et al., 2005). Aufgrund der hypoxischen Verhältnisse in dem Grubensystem werden Katecholamine, wie Adrenalin und Noradrenalin freigesetzt. Diese Hormone führen zu einer Dilatation der Gefäße und zur einer Blutdrucksteigerung. Zusätzlich zum erhöhten Blutdrucks kommen Exzitationen, wie beispielsweise verstärkte Muskelkontraktionen. Die Blutgefäße reißen. Dies wird sichtbar als petechiale Blutung in Geweben (Troeger et al., 2005). Petechiale Blutungen sowie Ekchymosen wirken sich negativ auf die Qualität des Fleisches aus. Sowohl das Steigen der elektrischen Leitfähigkeit als auch das Sinken des pH-Wertes im Muskelfleisch führt zu einem Wertverlust des Fleisches.

Der Tropfsaftverlust, der durch die höhere elektrische Leitfähigkeit und durch den niedrigen pH-Wert zustande kommt, führt zusätzlich zu kommerziellen Verlusten. Zusätzlich erhöht sich durch diese Faktoren das Risiko für PSE-Fleisch.

Die Fleischfarbe ist grundsätzlich vergleichbar mit der Farbe, die bei einer Betäubung mit CO₂ entsteht (Llonch et al., 2012).

8.3.7 Risikobewertung

Die Komplikationen, die bei einer Betäubung mit N₂ und Gemischen aus N₂ und CO₂ auftreten können, sind dieselben wie bei der Betäubung mit reinem Ar beziehungsweise Ar-CO₂-Mischungen aufgezählt wurden (EFSA, 2020).

8.4 Betäubung mit hoch-expansiven N₂-gefülltem Schaum

Bei dieser Methode wird das Tier mit einem hoch-expansiven N₂-gefüllten Schaum besprüht. Dabei werden höhere N₂-Konzentrationen erreicht als bei einer Gasbetäubung mit N₂. Die Expansionsrate soll über 1:250 sein (Pöhlmann, 2018).

8.4.1 Schaumbetäubung bei Hühnern

Es gibt Studien über den Vergleich zwischen N₂-gefüllten Schaum und CO₂-gefüllten Schaum beim Geflügel. Hierbei ist eine Betäubung mit N₂ weniger aversiv als mit CO₂, jedoch ist die Expansionszeit länger. Die Tiere verlieren durch die Besprühung mit N₂ nach 18-30 s ihr Bewusstsein. Bei einer Betäubung mit CO₂-Schaum dauerte es beim Geflügel circa 16s (RAJ et al., 2008).

8.4.2 Voraussetzungen an den Schaum

Damit jegliche Art von Schaum zur Bewusstlosigkeit führt, benötigt der Schaum spezielle Eigenschaften. Die Betäubungswirkung wird beeinflusst von Expansionsrate, vom Surfactant-Typ, von der Temperatur des Schaums, von der Flussgeschwindigkeit durch das Gerät, von dem Blasendurchmesser und von der Blasenzusammensetzung (Pöhlmann, 2018). Versuche wurden bei Hühnern sowohl unter Laborbedingungen als auch unter Schlachthausbedingungen durchgeführt. Hierbei wurde der Betäubungserfolg sowohl auf objektive Art und Weise, mit Hilfe einer EEG-Messung und subjektiv beurteilt. Pöhlmann (2018) wendete dieses Verfahren bei der Tierart Schwein an.

8.4.3 Eigenschaften des Schaums

Der Schaum besteht aus Wasser und zu 3% aus Schaumkonzentrat. Der Stickstoff soll eine Reinheit von 99,999% aufweisen. Der Schaum wird durch einen speziellen Generator erzeugt. Der generierte Schaum hat die Aufgabe die Luft von O₂ zu reinigen. Für die Betäubung eines

Schweines werden 20-25 Liter gebraucht. Das Tier wird über drei Minuten lang mit Schaum besprüht und verweilt noch circa 30 s in diesem Zustand. Das Gerät ist mit verschiedenen Messgeräten ausgestattet, um beispielsweise Blasengröße und Druck stetig bestimmen zu können (Pöhlmann, 2018).

8.4.4 Auswirkungen des N₂-Schaumes auf die Atemwege, Kreislauf und Gehirn

Diese Methode löst wie die Betäubung mit reinen inerten Gasen eine Hypoxie bei den Schlachtschweinen aus. Die Schweine der Versuchsreihe wurden mit 1-2 Liter Schaumkonzentrat/min und 600-900 Liter gasförmigen N₂ in der Minute ausgesetzt. Bei diesem Versuch wurden transkutan der partielle CO₂-Druck und der partielle O₂-Druck gemessen. Somit konnte der Zeitpunkt bestimmt werden, an dem die Schweine die Anoxie wahrnehmen. Das erfolgte für gewöhnlich innerhalb von 80 s (Pöhlmann, 2018).

Zusätzlich wurden an den Versuchstieren EEG und EKG aufgenommen. Sowohl die Herz- als auch die Atemfrequenz wurden während der Exposition bestimmt. Beide Parameter stiegen zu Beginn der Besprühung. Dieser Anstieg wird durch die Hypoxie erklärt und ist kein Hinweis auf ein aversives Verhalten. Herz- und Atemfrequenz sanken jedoch innerhalb von 160 s rasant ab und nach 200 s war keine Herzfrequenz mehr nachweisbar (Pöhlmann, 2018).

Dieses Ergebnis ist aus der Sicht des Tierschutzes nicht akzeptabel. Zusätzlich wurden einige Reflexe überprüft. Man hat die Schweine auch mit einem Bewegungssensor ausgestattet, um zu bestimmen, ab wann sie ihre Haltung verlieren und zu Boden fallen.

8.4.5 Verlängerte Expositionszeit

Die Bewusstlosigkeit und die Empfindungslosigkeit hält wie bei der Betäubung mit inerten Gasen nicht allzu lange an. Demnach müssen die Zeiten angepasst werden.

8.4.6 Aversionsverhalten

Während der Betäubung zeigen die Schweine ein eindeutiges Abwehrverhalten (Abb. 7). Vor allem wenn der Schaum auf ihren Augen und Schnauzen zu liegen kommt, strecken sie ihren Kopf nach oben. Die Aversionen sind ähnlich wie die aversiven Reaktionen bei einer kommerziellen CO₂-Betäubung (Lindahl et al., 2020).

Um die Stresssituation der Schweine besser einschätzen zu können, wird die Katecholamin-

Konzentration im Stichblut bestimmt. Hierbei weisen die Schweine wie bei einer Gasbetäubung und elektrischen Betäubungen eine hohe Konzentration an Stresshormonen auf (Pöhlmann, 2018).

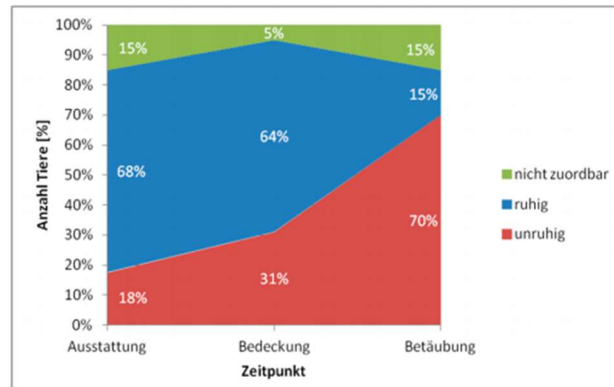


Abb. 7: Tierverhalten zu verschiedenen Zeitpunkten (Pöhlmann, 2018).

In der Darstellung 7 wird die prozentuelle Verteilung der Stressreaktionen zum Zeitpunkt der Ausstattung, Bedeckung und Betäubung veranschaulicht. Hier ersichtlich ist, dass 70% der Tiere zum Zeitpunkt der Betäubung Reaktionen zeigen, die als Zeichen von Unruhe und Stress gewertet werden können. Folglich stellt diese Methode keine Tierschutz-freundlichere Alternative zur CO₂-Betäubung dar.

8.4.7 Fleischqualität

Zur Fleischqualität kann gesagt werden, dass der pH-Wert im Muskelfleisch generell bei der Betäubung mit N₂-gefülltem Schaum niedriger ist als bei der konventionellen Betäubung mit CO₂ (Pöhlmann, 2018). Das Risiko für PSE-Fleisch ist demnach erhöht.

Auch das Wasserbindungsvermögen ist niedriger bei einer Schaumbetäubung mit N₂. Die Tropfsaftverluste weisen keine Unterschiede auf (Pöhlmann, 2018).

Der Nachteil dieser Betäubungsmethode sind die Rückstände von Schaum in der Trachea und im Lungengewebe (Pöhlmann, 2018). Diese Organe werden bei der Fleischuntersuchung für genussuntauglich erklärt und können nicht für den menschlichen Verzehr verwendet werden. Trotz allem ist die Muskel-Fleischqualität gleichwertig wie bei CO₂-Betäubungen.

Folglich kann gesagt werden, dass dieses Verfahren zu viele negative Auswirkungen auf das Tierwohl mit sich bringt, um in der Gegenwart als etablierte Methode angesehen werden zu können. Außerdem ist die Schaumbetäubung bei Schweinen mit einem zu hohen Aufwand

verbunden.

8.5 Gasbetäubung mit Helium

8.5.1 Eigenschaften von Helium

He gehört zu der Gruppe der Edelgase und dementsprechend zu den reaktionsträgen Elementen. Die Dichte von He beträgt $0,1785 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Folglich ist das Gas leichter als atmosphärische Luft. Prof. Dr. K. Troeger ist einer der Wenigen, die sich mit dem Gas als alternative Gasbetäubungsmöglichkeit zu CO_2 auseinandergesetzt hat. Deshalb stützt sich dieses Kapitel vorwiegend auf die Aussagen von Prof. Dr. K. Troeger.

Troeger & Machtohl (2012) bevorzugen bei ihren Versuchen idealerweise eine He-Konzentration von unter 90% und hält die O_2 -Konzentration zusätzlich auf unter 2%. In den Versuchen herrscht jedoch eine He-Konzentration von 98,5% und eine O_2 -Konzentration von 1,5%.

8.5.2 Das Glockensystem

Da He viel leichter im Gegensatz zur atmosphärischen Luft ist, stellt das Gondelsystem in der Tiefe keine Option dar. Troeger baute eine Art Glocke (Abb. 8).



Abb. 8: Helium-Betäubungsanlage (aus Troeger & Machtohl, 2012).

Die Abbildung 8 zeigt die Anlage, die für die Betäubung mit dem Edelgas He benötigt wird. Es ist der Treibweg bis zur Anlage sichtbar und die Glocke die sich während des Betäubungsprozesses über die Plattform legt.

Das Versuchsschwein wird auf eine Plattform getrieben. Über diese Plattform wird eine Glocke über das Schwein gestülpt. Die Glocke befindet sich nun über dem Schwein. Danach strömt das Gas He in die Glocke hinein (Troeger & Machtohl, 2012).

8.5.3 Auswirkungen des Gases auf den Körper

He löst bei Schlachtschweinen eine Hypoxie aus. Wie in den vorherigen Textpassagen schon erwähnt darf bei Gasen, die eine Hypoxie auslösen, die O₂-Konzentration nicht über 2% steigen. Dies wird Tierschutz-rechtlich begründet.

8.5.4 Aversionsverhalten

Im Gegensatz zu der konventionellen Gasbetäubung mit CO₂, zeigte keines der Versuchstiere ein aversives Verhalten. Auf der Plattform wurden Futter und Beschäftigungsmaterial zur Verfügung gestellt. Während der Gaseinleitung mit He in die Glocke fraßen die Schweine ungestört weiter und erkundeten das Material auf dem Boden. Die Benommenheit der Tiere wurde erst kurz vor dem Verlust des Stehvermögens sichtbar, nämlich durch einen schwankenden Gang. Zusätzlich wurden Exzitationen beobachtet.

Das Exzitationsstadium ist das Stadium, das auch bei der Betäubung mit inerten Gasen eine starke Prominenz zeigt (Troeger & Machtoft, 2012).

8.5.5 Verlängerte Expositionszeit

Die Expositionszeit bei einer He-Atmosphäre von über 90% entspricht 180 s. Hierbei stellt sich das stun-to-stick Intervall von 15-30 s als ausreichend dar. Troeger stellt außerdem fest, dass die Schweine schon nach einer Expositionszeit von 20 s ihr Bewusstsein verlieren.

Die Untersuchungen des Stichblutes ergeben, dass die Konzentration der Katecholamine deutlich niedriger ist als bei einer CO₂-Beäubung oder anderen alternativen Gasmethoden. Daraus folgt, dass das Stresslevel der Schlachtschweine, welche mit He betäubt wurden, deutlich niedriger ist (Troeger & Machtoft, 2012).

8.5.6 Fleischqualität

Bei der Bewertung der Fleischqualität in Hinblick auf Sensorik, Tropfsaftverlust, pH-Wert und Leitfähigkeit wurden keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur CO₂-Betäubung festgestellt. Erst 48 h nach Schlachtung fiel ein Unterschied in der Fleischfarbe auf. Die Tiere, die mit He betäubt worden waren, wiesen ein dunkleres Fleisch mit einer stärkeren Rotfärbung auf als Muskelfleisch, das von CO₂ betäubten Schweinen stammte. Durch Umfragen kann jedoch gesagt werden, dass die Schweine, die mit He betäubt wurden, geschmacklich besser

abgeschnitten haben (Troeger & Machtolf, 2012).

8.5.7 Risikobewertung

Die Probleme, welche bei der Betäubung mit He auftreten können, sind vergleichbar mit den Problemen, die auch bei der Betäubung mit Ar und N₂ eine große Rolle spielen. Diese wurden in den vorherigen Kapiteln genau beschrieben (EFSA, 2020).

Durch die Versuche von Troeger konnte belegt werden, dass es sich bei der Betäubung mit dem Edelgas He um eine Tierschutz-gerechtere Methodik handelt, als die bislang kommerziellen Betäubungsmethoden beim Schwein.

9. Tierschutzgerechtes Schlachten

9.1 Österreich

Es ist hier Recht der Europäischen Union anzuwenden. Eine Schlachtung muss laut VO (EG) Nr. 1099/2009, Kapitel II, Artikel 3 folgendermaßen ablaufen: „Die Tiere müssen während der Tötung von jeglichem Stress, Schmerz und Leid verschont werden“ (Artikel 13 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009, 2014, S.9). Es muss durch eine Betäubung eine Wahrnehmungslosigkeit und eine Empfindungslosigkeit erreicht werden, damit die Tötung des Tieres verordnungsgemäß abläuft. Die Bewusstlosigkeit muss bis zum Tod des Schweines anhalten. Der Betäubungserfolg muss regelmäßig von geschultem Personal überprüft werden. Dieser ist wie schon erwähnt von Expositionszeit und Gaskonzentration abhängig. Diese beiden Parameter müssen in stetigen Abständen überprüft werden. Um das Tier zu töten werden die Carotisarterien eröffnet. Es muss vor den weiteren Verarbeitungsschritten überprüft werden, ob das Schwein noch Lebenszeichen aufweist (Artikel 13 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009, 2014).

9.2 Vergleiche mit anderen Ländern

Auch in Deutschland ist Unionrecht anzuwenden (VO (EG) 1099/2009). Sowohl in Deutschland als auch in Österreich wird eine Mindestkonzentration von 80% CO₂ und einer Expositionszeit von mindestens 100s in den Gruben vorgeschrieben. Die CO₂-Konzentration soll auf allen Etagen homogen verteilt sein. Die Schulung des Personals in Deutschland wird ebenso als wichtige Voraussetzung angesehen. Durch das Personal muss der Betäubungserfolg, die Tötung und die Maschinerie regelmäßig überprüft werden (Artikel 13 der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009, 2014).

Das tierschutzgerechte Schlachten in der Schweiz stützt sich auf die Verordnung des BVET (=Bundesamt für Veterinärmedizin) über den Tierschutz beim Schlachten (VTSchS). Diese gibt Auskunft über ideale Betäubungs- und Tötungsabläufe der Schlachtschweine, sowie über die Bestimmung bezüglich der Einrichtungen des Schlachthofs. Der Schlachtbetrieb muss sowohl die Anforderungen von VTSchS und die der Tierschutzverordnung erfüllen. Das sagt Abschnitt 5 Artikel 15 aus. Die Tiere dürfen bis zum Todeseintritt nicht ihr Bewusstsein wiedererlangen.

Hierbei wird auf den Abschnitt 5 der Fokus gelegt, da sich dieser mit der Betäubung von Schlachttieren befasst (Verordnung des BVET über den Tierschutz beim Schlachten (VTSchS), 2009).

Es gelten dieselben Regelungen wie in Österreich und in Deutschland. Auch die Schweiz hält an den gleichen Regelungen fest, jedoch will das Land alternative Gasbetäubungen, die vermehrt Vorteile auf Seiten des Tierwohls bringen, etablieren (Top Agrar Online , 2020).

10. Fazit

Die unterschiedlichen Betäubungsmethoden haben ihre Vor- und Nachteile hinsichtlich der Produktion und des Tierwohls. Jede Betäubungsmethode und jeder Schlachtprozess darf nur der Herstellung von Fleisch für den menschlichen Gebrauch dienen. Dabei muss die Schlachtung für das Tier stressfrei, schmerzfrei und frei von Leid ablaufen. Dies wird in VO (EG) Nr. 1099/2009, Kapitel II, Artikel 3 vorgeschrieben. Die gegenwärtigen Verfahrensweisen bei der Schweineschlachtung stellen die CO₂-Gasbetäubung und die Betäubung mit einer elektrischen Zange dar.

Die meisten Schlachtbetriebe bevorzugen die Gasanlagen, welche mit CO₂ gefüllt sind. Auf die Menge bezogen bieten die Betäubungsanlagen mit Gas einen klaren Vorteil. Hierbei können mehrere Schweine gleichzeitig betäubt werden. Dies bietet nicht nur einen kommerziellen Vorteil, sondern punktet auch in Bezug auf das Tierwohl. Die Schweine empfinden in der Gruppe weniger Stress als bei einer Einzelbetäubung. Das hängt damit zusammen, dass es sich hierbei um eine soziale Tierart handelt. Folglich offeriert die Gasbetäubung in der Gruppe zwei große positive Aspekte.

Als weiterer Vorteil der CO₂-Betäubung wird eine bessere Fleischqualität als bei elektrisch betäubten Schweinen angegeben, was durch neuere Studien relativiert wurde. Dementsprechend ist die Fleischqualität nicht unbedingt abhängig von der Betäubungsmethode, sondern eher von dem Stresslevel der Schweine. Diese wird durch den Einflussfaktor Mensch stark beeinflusst. Es muss allerdings gesagt werden, dass während der Gasbetäubung der Mensch fast gar nicht mehr vorhanden ist im Gegensatz zur Betäubung mit elektrischen Mitteln. Dies wird zusätzlich als großer Pluspunkt angesehen, was die „Anästhesie“ bei Schweinen betrifft. Ein weiterer positiver Aspekt der CO₂-Betäubung ist die Beschaffung von CO₂. Das Gas stellt ein Nebenprodukt von Verbrennungsprozessen dar. Demnach handelt es bei der Aufbringung von CO₂ um einen günstigen Prozess.

Im Gegensatz zu einer Allgemeinanästhesie werden bei der CO₂-Betäubung keine chemischen Rückstände in den Schlachtkörpern der Schweine gefunden. Somit wird die Gesundheit des Konsumenten nicht beeinträchtigt.

Jedes Vorhaben hat nicht nur positive Aspekte, sondern auch negative Punkte, so auch die CO₂-Betäubung. Ein Nachteil ist seine induzierte Atemnot. Die Schweine zeigen nach einer

gewissen Zeit in der CO₂-Gondel eine gewisse Art von Schnappatmung und strecken ihren Hals und Kopf nach oben um nach Luft zu ringen. Zudem ist erforscht, dass die Atemnot durch den erhöhten CO₂-Gehalt in der Luft verursacht wird und nicht durch den geringen O₂-Anteil. Zusätzlich löst der hohe Prozentsatz von CO₂ in der Atemluft ein aversives Verhalten bei den Schweinen aus. Ein Grund dieser Aversionen ist die Schleimhaut-reizende Wirkung von CO₂. Ein weiterer Nachteil dieses Verfahrens ist die Dauer, in der das Gas seine Wirkung entfacht. Das Tier muss ungefähr 30 s in der mit CO₂ gefüllten Grube verweilen, um eine Bewusst- und Empfindungslosigkeit beim Tier zu erzeugen. Das heißt das Schwein ist nicht sofort vollständig betäubt. Bei Schweinen mit einem erhöhten Stresslevel, hiermit sind zum Beispiel Schweine mit dem Hampshire-Gen gemeint oder Schweine, die zu langen Transportzeiten ausgesetzt wurden, steigt das Risiko, dass die Betäubungswirkung abnimmt. Das heißt, dass die Tiere vermehrt unzureichend betäubt werden und während des Schlachtprozess aufwachen. Demnach müssen diese Tiere nachbetäubt werden, was wiederum ein stressiges und schmerzhaftes Prozedere darstellt. Verbessert wird dies durch einen ruhigen und stressfreien Umgang mit den Schlachtschweinen.

Wie oben erwähnt zählt die elektrische Betäubung (Kopfdurchströmung) zu den gegenwärtigen Verfahren. Die Elektroden, die in der Zange eingebaut sind, erzeugen bei den Schweinen einen Stromfluss, der zu einer Bewusstlosigkeit und Empfindungslosigkeit führt. Die Tiere sind circa vier Sekunden lang einer gewissen Stromstärke ausgesetzt. Hierbei muss angemerkt werden, dass das Schwein schon nach einer Sekunde sein Bewusstsein verliert. Der Zustand der Bewusstlosigkeit hält bei diesem Betäubungsverfahren etwa 30-60 s lang an.

Die Körper der Schweine sind in dieser Situation gelähmt. In dieser Verfassung ist es schwierig zu erkennen, ob es sich um eine erfolgreiche Betäubung oder um eine Fehlbetäubung handelt. Diese Lähmung der Muskulatur der Schweine bietet für das Schlachtpersonal einen verbesserten Arbeitsschutz; es werden weniger Menschen durch unwillkürlich gesetzte Bewegungen der Schweine verletzt.

Ein weiterer positiver Aspekt der Elektrobetäubung ist die unmittelbare Wirkung der Anästhesie im Gegensatz zu der Gasbetäubung mit CO₂.

Bei der Elektrobetäubung treten Fehlbetäubungen auf, wenn die Zangen an den falschen Positionen des Schweinekörpers angesetzt werden. Dies kann durch mangelnde Ausbildung des Personals passieren aber auch durch unzureichende Fixierung der Schweine (zum Beispiel zu

große Boxen). Infolgedessen müssen die Schweine nachbetäubt werden, was zu einer Erhöhung des Stresslevels der Tiere führt und die Fleischqualität im negativen Sinne beeinflusst.

Um dem Gebot nach Minimierung von Schmerzen, Aufregung und Stress für die Schlachttiere nachzukommen wird nach schonenderen Betäubungsmethoden geforscht. Hierbei stellt die Betäubung der Schweine mit inerten Gasen eine weitere Möglichkeit dar.

Argon (Ar) ist einer dieser reaktionsträgen Gase. Die Anästhesie mit Ar löst keine Atemnot aus. Demzufolge reagieren die Tiere weniger aversiv auf das Gas als auf CO₂. Folglich empfinden die Schweine bei dieser Betäubungsmethode weniger Stress. Es wird eine minimale Senkung der Stresshormone im beprobten Stichblut beobachtet.

Ein weiterer Vorteil ist, dass Ar genauso wie CO₂ eine höhere Dichte als die atmosphärische Luft besitzt. Somit können die tiefen Gruben, die ursprünglich für CO₂ gebaut wurden sind, beibehalten werden. Die gegenwärtigen Gasanlagen müssen nicht umgebaut werden.

Wie die Gasbetäubung mit CO₂ und die elektrische Betäubung hat auch die Betäubung mit dem Gas Ar Nachteile. Im Gegensatz zu CO₂ ist Ar in seiner Beschaffung kostenintensiver. Durch die höheren Anschaffungskosten steigt auch der Verkaufspreis für den Konsumenten.

Ein weiterer ausschlaggebender negativer Punkt ist die reduzierte Fleischqualität. Durch die verstärkte Vasokonstriktion bei dieser Art und Weise der Betäubung kommt es zum Platzen von Blutgefäßen in der Muskulatur und folglich zu vermehrten Einblutungen in das Muskelfleisch. Diese Einblutungen werden auch als petechiale Blutungen bezeichnet. Hierbei wird die Sensorik für den Konsumenten stark beeinflusst. Die Nachfrage nach dem Muskelfleisch sinkt. Das Gas N₂ stellt eine weitere Option dar, um Schweine vor der Schlachtung zu betäuben. Wie auch bei Ar löst N₂ eine Hypoxie aus. Somit entsteht bei den Schlachtschweinen kein Gefühl der Atemnot. Demzufolge wird das Aversionsverhalten gegenüber dem Gas reduziert. Zusätzlich ist N₂ zu 78% in der atmosphärischen Luft vorhanden. Daraus folgt, dass das Gas eine ausreichende Verfügbarkeit hat und die Anschaffung einen kostengünstigen Prozess darstellt.

Nachteilig ist die Instabilität des Gases. In Kombination mit CO₂ wird eine bessere Stabilität erreicht, jedoch bleiben durch den Zusatz von CO₂ die starken aversiven Reaktionen der Schweine weiterhin bestehen. Als tierschutzgerechter kann dies nicht bezeichnet werden. Außerdem ist N₂ leichter als Luft. Folglich können die gegenwärtigen Gasgruben nicht beibehalten werden und müssen umgebaut werden. Des Weiteren sorgt N₂ für einen

langsameren Bewusstseinsverlust. Zusätzlich wachen die Tiere schneller auf. Das heißt das stun-to-stick Intervall ist stark verkürzt. In Folge dessen müssen die Expositionszeiten verlängert werden.

Ein weiterer Nachteil ist, dass während der Betäubung vermehrt petechiale Blutungen im Muskelfleisch der Tiere entstehen, was in einer verringerten Nachfrage beim Konsumenten resultiert.

Eine Betäubung mit N₂-gefüllten Schaum bietet minimal bessere Fleischqualität als mit der kommerziellen CO₂-Gasbetäubung. Es überwiegen aber die negativen Aspekte. Einer davon ist steigende Stresslevel. Sobald der Schaum das Gesicht, vor allem aber die Schnauze, der Schweine abdeckt, werden sie unruhig und äußern dies in Form von lauten Schreien. Das Stresslevel steigt rasant an. Zudem atmen die Tiere den Schaum ein, was zu Rückständen in der Lunge führt. Die Lungen müssen als genussuntauglich erklärt und dürfen demnach nicht mehr verwertet werden. Wie auch bei der Gasbetäubung mit N₂ dauert es länger bis der Betäubungserfolg eintritt. Dieser hält jedoch nur für einen kurzen Zeitraum an.

Ein Gas, welches eine realistische Alternative zur CO₂-Betäubung darstellt, ist Helium. Bei der Betäubung mit diesem Gas zeigen die Schweine nur noch geringfügige bis keine aversiven Reaktionen. Auch die Atemnot bleibt aus. Hierbei kann gesagt werden, dass die Schweine einen reduzierten Spiegel an Stresshormonen ausschütten. Dies wird durch die Untersuchung des Stichblutes bestätigt.

Ein weiterer ausschlaggebender Punkt ist die Fleischqualität. Diese ist gleichwertig im Vergleich zur CO₂-Betäubung, wenn nicht sogar besser.

Der einzige Nachteil, den diese Methode bietet, ist die Anschaffung. He ist eine begrenzte Ressource. Zusätzlich besitzt He eine geringere Dichte als die atmosphärische Luft, das heißt, dass die gegenwärtigen Gasanlagen in ein Glockensystem umgebaut werden müssen. Beide Aspekte führen zu einer Steigerung des Verkaufspreises.

Da diese Methode jedoch die Fleischqualität nicht negativ beeinflusst und tierschutzgerechter abläuft als die Betäubung mit CO₂, stellt sie eine ausbaufähige Alternative zur CO₂-Betäubung dar.

Alles in einem kann gesagt werden, dass die Betäubung mit inerten Gasen bezogen auf das Tierwohl eine bessere Betäubungsvariante darstellt, als die Betäubung mit CO₂.

Diese reaktionsträgen Gase sind jedoch nur vage erforscht. Es bedarf noch einiges mehr an

Untersuchungen, um inerte Gase als alternative Methode zu etablieren. Die Mehrzahl der Arbeiten zu dem Thema sind im Zeitraum 2004-2012 verfasst worden, während in den letzten zehn Jahren die Anzahl der wissenschaftlichen Berichte über alternative Betäubungsverfahren beim Schwein eher mager ausfällt. Dies, obwohl das Thema Tierwohl in Bezug auf Betäubung und Schlachtung gerade in den letzten Jahren eine immer wichtigere Rolle in der Bevölkerung spielt. Es muss mehr Interesse und vor allem Initiative von Seiten der Wissenschaft gezeigt werden, um Verbesserungen möglich zu machen.

11. Zusammenfassung

Für die Betäubung von Schlachtschweinen sind in der Europäischen Union derzeit die perforierende Betäubung mittels Bolzenschuss, die elektrische Durchströmung des Gehirns und die Betäubung mittels Kohlendioxid (CO₂) zulässig, wobei das erstgenannte Verfahren nur in Einzelfällen angewendet wird. Die Betäubung mittels CO₂ wird durch Absenken der Tiere in gasgefüllte Schächte bewerkstelligt und ist vollständig automatisierbar, was einen Vorteil gegenüber der manuell durchzuführenden Elektrobetäubung darstellen kann. Bei der CO₂ Betäubung treten Hyperkapnie, Hypoxie und Azidose auf, was zu einer im Prinzip reversiblen Betäubung führt, deren Einleitungsphase bei den Schlachtschweinen aversive Reaktionen auslöst und die von ausgeprägten Exzitation gefolgt sein kann. In dieser Arbeit wird ausgehend von einer Beschreibung, wie Stress und Aversion beim Schlachttier beurteilt werden können, der Wissensstand zur Wirkweise der CO₂ Betäubung zusammengefasst und eine Übersicht zu Versuchen, Schlachtschweine mit inerten Gasen zu betäuben, gegeben. Dabei werden auch Auswirkungen auf die Fleischqualität berücksichtigt, da das Ziel der Schlachtung ja die Fleischgewinnung ist.

In der Literatur werden Versuche mit der Anwendung von Argon, Stickstoff und Helium, z.T. im Kombination mit CO₂ beschrieben. Für die Anwendung von Argon oder Stickstoff könnten bestehende Betäubungsanlagen modifiziert werden, da diese Gase schwerer als Luft sind. Nachteilig sind bei Argon das Auftreten von Muskelblutungen und bei Stickstoff die kurze Dauer der Betäubung. Helium hat diese Nachteile nicht und verursacht auch keine aversiven Reaktionen. Betäubungsanlagen mit Helium müssten aber neu konzipiert werden, da das Gas leichter ist als Luft. Es sind hier offensichtlich weitere Forschungstätigkeiten nötig. Zu bedenken ist auch, dass neue Betäubungsverfahren zu höheren Kosten bei der Schlachtung führen können und es seitens der Abnehmer die Bereitschaft geben muss, diese Kosten zu tragen.

12. Summary

Comparison of the application of gases for stunning slaughter pigs, with reference to effects on meat quality

European Union legislation currently allows three methods for stunning of pigs at slaughter, i.e. captive bolt stunning, electrical stunning and use of gases, in particular carbon dioxide (CO₂), with captive bolt stunning least commonly applied. Stunning of slaughter pigs by CO₂ is accomplished by lowering the animal into deep wells filled with CO₂. This procedure can be done fully automatically, in contrast to electrical stunning, where the electrodes are manually placed on the animal. In CO₂ stunning, hypercapnia, hypoxia and acidosis effectuate a – in essence reversible – stunning or narcosis, with aversive reactions in the excitation phase, followed by sometimes pronounced excitations.

In this thesis, it is aimed to describe how stress and aversion can be assessed in slaughter pigs, how CO₂ effectuates a narcotic state and which studies have been performed on the use of other gases than CO₂ in pig stunning. Effects on meat quality are considered, since the ultimate goal of slaughter is production of meat.

Scientific studies report on the application of Argon (Ar), nitrogen (N₂) and Helium (He), sometimes in combination with CO₂. Since Ar and N₂ have a higher density than air, these gases could be used in already existing CO₂ stunning shafts with minor adaptation. The emergence of blood splashes in the muscles after Ar stunning and the short duration of N₂ stunning, however, rule out these gases for application under practical/commercial viewpoints. He gas is free from such disadvantages and does not evoke aversive reactions, but has a lower density than air and would require a new design in stunning devices. Further research is needed. It is also important to realize that new stunning methods imply more costs, and that meat processors must bear these additional expenses.

13. Literaturverzeichnis

Adzitey F.; Nurul H. (2011): Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: Causes and measures to reduce these incidences — A mini review. In: *International Food Research Journal* 18 (1):11-20, S. 11–20.

Atkinson S.; Algers B.; Pallisera J.; Velarde A.; Llonch P. (2020): Animal welfare and meat quality assessment in gas stunning during commercial slaughter of pigs using hypercapnic-hypoxia (20% CO₂ 2% O₂) compared to acute hypercapnia (90% CO₂ in air). In: *Animals* 10(12):2440, S. 1-10. DOI: 10.3390/ani10122440

Barbut S.; Sosnicki A. A.; Lonergan S. M.; Knapp T.; Ciobano D. C.; Gatchcliffe L. J.; Huff-Lonergan E.; Wilson E. W. (2008): Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. In: *Meat Science* 79 (1), S. 49-60. DOI: 10.1016/j.meatsci.2007.07.031

Beausoleil N.J.; Mellor D.J. (2015): Introducing breathlessness as a significant animal welfare issue. In: *N. Z. Vet. J.*, 63 (1), S. 44-49. DOI: 10.1080/00480169.2014.940410

Becerril-Herrera M.; Alonso-Spilsbury M.; Lemus-Flores C.; Guerrero-Legarreta I.; Olmos-Hernández A.; Ramírez-Necochea R.; Mota-Rojas D. (2009): CO₂ stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning. In: *Meat Science* 81 (1), S. 233-237. DOI: 10.1016/j.meatsci.2008.07.025

Benson E. R.; Alphin R. L.; Rankin M. K.; Caputo M. P.; Hougentogler D. P.; Johnson A. L. (2012): Mass Emergency Water- Based Foam Depopulation of Poultry. In: *Avian Diseases* 56 (4s1):891-896, S. 891-896. DOI: 10.1637/10160-040912-Reg.1

Bertrama H. C.; Stodkilde-Jorgensen H.; Karlsson A. H.; Andersen H. J. (2002): Post mortem energy metabolism and meat quality of porcine *M. longissimus dorsi* as influenced by stunning

method – A (31) P NMR spectroscopic study. In: Meat Science 62 (1), S. 113-116. DOI: 10.1016/s0309-1740(01)00235-2

Bundesministerium: Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz (2014): Leitlinie für eine gute Hygienepraxis und die Grundsätze des HACCP bei der Schlachtung und Zerlegung von Rindern, Schweinen, Schafen, Ziegen und Einhufern sowie bei der Herstellung von Fleischerzeugnissen. Bundesministerium für Frauen und Gesundheit. Österreichisches Lebensmittelbuch. Verlag Brüder Hollinek & Co GesmbH IV. Auflage. BMG-75210/0002-II/B/13/2014, S. 12-29

Bundesministerium für Gesundheit (2014): Leitfaden für bewährte Verfahrensweisen betreffend Tierschutz bei der Schlachtung. Gemäß Artikel 13 der Verordnung EG Nr. 1099/2009. BMG- 74310/0012-II/B/2014, S. 6-9, 34, 77-78

Channon H.A.; Payne A.M.; Warner R.D (2003): Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO₂. In: Meat Science 65 (4), S. 1325–1333. DOI: 10.1016/S0309-1740(03)00053-6

Dalmau A.; Rodriguez P.; Llonch P.; Velarde A. (2010a): Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs. In: Animal welfare (South Mimms, England) 19 (3), S. 325-333.

Dalmau A.; Llonch P.; Rodriguez P.; Ruíz- de la- Torre J. L.; Manteca X.; Velarde A. (2010b): Stunning pigs with different gas mixtures: gas stability. In: Animal welfare (South Mimms, England) 19 (3), S. 315- 325

Dokmanovic M., Velarde A., Tomovic V., Glamoclija N., Markovic R., Janjic J., Baltic M. Z. (2014): The effects of lairage time and handling procedures prior to slaughter on stress and meat quality parameters in pigs. In: Meat Science 98 (2), S. 220-224 .DOI: 10.1016/j.meatsci.2014.06.003

Dugdale A. (2010): Veterinary anaesthesia: principles to practice. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK, S. 302-309 ISBN: 978-1-405-19247-7

EFSA (European Food Safety Authority) (2004): Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) on a request from the Commission related to welfare aspects of the main systems of stunning and killing the main commercial species of animals. In: The EFSA Journal 45, S. 1-29. DOI: 10.2903/j.efsa.2004.45

EFSA (European Food Safety Authority) (2006): The welfare aspects of the main systems of stunning and killing applied to commercially farmed deer, goats, rabbits, ostriches, ducks, geese and quail. In: The EFSA Journal, 326, S. 1–18. DOI: 10.2903/j.efsa.2006.326

EFSA (European Food Safety Authority) (2013a): Scientific opinion on monitoring procedures at slaughterhouses for pigs. In: The EFSA Journal 11(12), 1-8, S. 30-40. DOI: 10.2903/j.efsa.2013.3523

EFSA (European Food Safety Authority) (2013b): Scientific opinion on the use of carbon dioxide for stunning rabbits. In: The EFSA Journal 11 (6), S. 3-16; DOI: 10.2903/j.efsa.2013.3250

EFSA (European Food Safety Authority) (2018): Guidance on the assessment criteria for applications for new or modified stunning methods regarding animal protection at the time of killing. In: EFSA Journal 16 (7), S. 1-22. DOI: 10.2903/j.efsa.2018.5343

EFSA (European Food Safety Authority) (2020): Welfare of pigs with slaughter. In: EFSA Journal 18 (6), S. 64-74. DOI: 10.2903/j.efsa.2020.6148

Fischer K. (2007): Drip loss in pork: influencing factors and relation to further meat quality traits. In: Journal of animal breeding and genetics 124 (s1), S. 12-15. DOI: 10.1111/j.1439-0388.2007.00682.x

Gardner, G. E.; McIntyre, B. L.; Tudor, G. D.; Pethick, D. W. (2001): The impact of nutrition on bovine muscle glycogen metabolism following exercise. In: *Animal production science* 54 (10):1575, S. 461-470. DOI: 10.1071/AN14434

Gispert M.; Faucitano L.; Oliver M.A.; Guaardia M.D.; Coll C.; Siggens K.; Harvey K.; Diestre A. (2000): A survey of preslaughter conditions, halothane gene frequency, and carcass and meat quality in Five Spanish pig commercial abattoirs. In: *Meat Science* 55 (1), S. 97-106. DOI: 10.1016/s0309-1740(99)00130-8

Gregory N.; Shaw F. (2000): Penetrating captive bolt stunning and exsanguination of cattle in abattoirs. In: *Journal of Applied Animal Welfare Science* 3 (3), S. 215–230. DOI: 10.1207/S15327604JAWS0303_3

Gregory N. G. (2004): Recent concerns about stunning and slaughter. In: *Meat Science* 70 (3), S. 481-491. DOI: 10.1016/j.meatsci.2004.06.026

Hambrecht E.; Eissen J. J.; De Klein W. J. H.; Ducro B.; Smits C. J. M.; Newman D. J.; Smits C. H. M.; Verstegen M. W. A. (2004): Preslaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants. In: *Journal of animal science* 82 (5), S. 1401-1409. DOI: 10.2527/2004.8251401x

Huang Q. F.; Gebrewold A.; Zhang A.; Altura B.T.; Altura B.M. (1994): Role of excitatory amino acid in regulation of rat pial microvasculature. In: *American Journal of Physiology* 266 (1 Pt. 2), S. 158–163. DOI: 10.1152/ajpregu.1994.266.1.R158

Huff-Lonergan E. J.; Lonergan S. M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. In: *Meat Science*, 71 (1), S. 194–204. DOI: 10.1016/j.meatsci.2005.04.022

Hughes J. M.; Oiseth S. K.; Purslow P. P.; Warner R. D. (2014): A structural approach to

understanding the interaction between colour, water-holding capacity and tenderness. In: Australia. Meat Science 98 (3), S. 521-529. DOI: 10.1016/j.meatsci.2014.05.022

J. Jerry Kaneko (1993): Clinical biochemistry of domestic animals. In: Clinical biochemistry of domestic animals 5 (3), S. 45–81. DOI: 10.1016/B978-012396305-5/50004-X

Kannan G.; Chawan C. B.; Kouakou B.; Gelaye B. (2002): Influence of packaging method and storage time on shear value and mechanical strength of intramuscular connective tissue of chevon. In: Journal of Animal Science 80 (9), S. 2383-2389. DOI: 10.2527/2002.8092383x

Klettner P. G.; A. Stiebing (1980): Beitrag zur Bestimmung der Farbe bei Fleisch und Fleischerzeugnissen. In: Fleischwirtschaft 60 (11), S. 1970-1976. ISSN: 0015-363X

Lindahl Cecilia; Sindhoj Erik; Brattl; Hellgren Rebecka; Berg Charlotte; Wallenbeck Anna (2020): Responses of pigs to stunning with nitrogen filled high-expansion foam. In: Animals 10 (12):2210, S. 10-14. DOI: 10.3390/ani10122210

Llonch P.; Rodriguez P.; Gispert M.; Dalmau A.; Manteca X.; Velarde A. (2012): Stunning pigs with nitrogen and carbon dioxide mixtures: effects on animal welfare and meat quality. In: Meat Science 6 (4), S. 668-674. DOI: 10.1017/S1751731111001911

Ludtke C.B.; Silveira E. T. F.; Bertoloni W.; De Andrade J. C.; Buzelli M. L.; Bessa L. R.; Soares G. J. D. (2010): Bem-estar e qualidade de carne de suínos submetidos a diferentes técnicas de manejo pré-abate. In: Rev Bras Saúde Prod Anim 11(1), S. 231-241. DOI: 10.18677/EnciBio_2019B62

Lundström K.; Andersson A.; Hansson I. (1996): Effect of the RN gene on technological and sensory meat quality in crossbred pigs with Hampshire as terminal sire. In: Meat Science ,42 (2), S. 145–153. DOI: 10.1016/0309-1740(95)00034-8

Machold U.; Troeger K.; Moje M. (2003a): Betäubung von Schweinen mit Kohlendioxid (CO2)

bzw. Argon. Vergleichende Verhaltensstudie und Bestimmung humoraler Stressparameter. In: Fleischwirtschaft 83 (9), S. 139-142

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

Machtolf M.; Troeger K. (2012): Untersuchungen zu nicht aversiv wirkenden Gasnarkoseverfahren für Schlachtschweine. [Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, Max Rubner-Institut Kulmbach, Kulmbach], S. 3-34

Maganhini M. B.; Mariano B.; Soares A. L.; Guarnieri P. D.; Shimokomaki M.; Ida E. I. (2007): Carnes PSE (Pale, Soft, Exudative) e DFD (Dark, Firm, Dry) em lombo suíno numa linha de abate industrial. In: Ciênc Tecnol Aliment 27, S. 69-72: DOI: 10.1590/S0101-20612007000500012

Mancini, R. A.; Hunt M. C. (2005): Current research in meat color. In: Meat Science, 71(1), S. 100–121. DOI: doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003

Marcon V. Adila; Caldara R. Fabiana; F. de Oliveira Geyssane; Gonçalves M. P. Liliane; Garcia G. Rodrigo, Paz C. L. A.; Ibiara C.L.A. Paz; Crone Carla; Marcon Alex (2019): Pork quality after electrical or carbon dioxide stunning at slaughter. In: Meat Science 156, S. 95-97. DOI: 10.1016/j.meatsci.2019.04.022

Meyer R. E. (2015): Physiologic Measures of Animal stress during Transitional States of Consciousness. In: Animals 5 (3), S. 702-7016. DOI: 10.3390/ani5030380

Moehrlein D.; Link G.; Werner C.; Wicke M. (2007): Suitability of three commercially produced pig breeds in Germany for a meat quality program with emphasis on drip loss and eating quality. In: Meat Science 77 (4), S. 504-511. DOI: 10.1016/j.meatsci.2007.04.030

Mota-Rojas D.; Becerril-Herrera M.; Roldan-Santiago P.; Alonso-Spilsbury M.; Flores-Peinado S.; Ramirez-Necoechea R.; Ramirez-Telles J. A.; Mora-Medina P.; Perez M.; Molina E.; Soni E.; Trujillo-Ortega M. E. (2011): Effects of long distance transportation and CO₂ stunning on critical blood values in pigs. In: Meat Science 90 (4), S. 895-896. DOI: 10.1016/j.meatsci.2011.11.027

Nowak B.; Mueffling T. V.; Hartung J. (2007): Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: Impact on animal welfare and meat quality. In: Meat Science 75 (2), S. 290-296. DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.07.014

Nowak B. (2002): Einfluss von drei verschiedenen Betäubungsverfahren auf die Stressreaktion und die Fleischbeschaffenheit bei Schlachtschweinen [Dissertation, Tierärztliche Hochschule, Hannover], S. 16-40, 85-91, 142

Oda Shi; Bridi A. M.; Soares A. L.; Guarnieri P. D.; Ida E. I.; Shimokomaki M. (2004): Carnes PSE (Pale, Soft, Exudative) e DFD (Dark, Firm, Dry) em aves e suínos – diferenças e semelhanças. In: Rev Nac Carne 28(325), S. 108-113. DOI: 10.1590/S0101-20612007000500012

Offer G. (1991): Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. In: Meat Science, 30 (2), S. 157–184. DOI: 10.1016/0309-1740(91)90005-B

Paulsen P. (2001): Zum Stand der Schlacht-tierbetäubung in der Zeit von 1890- 1930. In: Wien. Tierärztl. Mschr. 88, S. 169-178.

PETA. (2016). Todeskampf im Schlachthof: Leidvolle CO₂-Betäubung von Schweinen – PETA erstattet Strafanzeige gegen Betrieb in Rheinland-Pfalz. 2016. Abgerufen am 05.06.2021, von [https://www.peta.de/presse/todeskampf-im-schlachthof-leidvolle-co2-betaeubung-von-schweinen-peta-5/#:~:text=Daher%20hat%20die%20Tierrechtsorganisation%20PETA,25%20H%C3%B6fe%](https://www.peta.de/presse/todeskampf-im-schlachthof-leidvolle-co2-betaeubung-von-schweinen-peta-5/#:~:text=Daher%20hat%20die%20Tierrechtsorganisation%20PETA,25%20H%C3%B6fe%20)

20in%20neun%20Bundesl%C3%A4ndern.

PETA. (2021). CO₂-Betäubung bei Schweinen - Todesangst bei der Gasbetäubung. Abgerufen am 15.07.2021, von <https://www.peta.de/themen/co2-betaeubung-schweine/>

Pöhlmann V. (2018): Untersuchungen zu alternativen Betäubungen von Schlachtschweinen mit einem hochexpansiven Stickstoff-gefüllten Schaum unter Tierschutz und Fleischqualitätsaspekten [Dissertation, Freie Universität Berlin, Berlin]. Friedrich-Loeffler-Institut, S. 5-177

Raj A. B. M.; Gregory N. G. (1995): Welfare implications of the gas stunning of pigs 1. Determination of aversion to the initial inhalation of carbon dioxide or argon. In: The veterinary journal 153 (3), S. 273-280. DOI: 10.1016/S1090-0233(97)80067-6

Raj A. B. M.; Gregory N. G. (1996): Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress of induction of anaesthesia. In: The veterinary journal 153 (3), S. 71-78. DOI: 10.1016/S1090-0233(97)80067-6

Raj A.B.M.; Smith C.; Hickman G. (2008): Novel method for killing poultry in houses with dry foam created using nitrogen. In: Veterinary Record 162 (22), S. 722-723. DOI: 10.1136/vr.162.22.722

Rosen A. S.; Morris M.E. (1991): Depolarizing effects of anoxia on pyramidal cells of rat neocortex. In: Neuroscience Letters, 124 (2), S. 169–173. DOI: 10.1016/0304-3940(91)90086-9

Rosenvold K.; Andersen H. J. (2003): Factors of significance for pork quality: a review. In: Meat Science 64 (3), S. 397-406. DOI: 10.1016/S0309-1740(02)00186-9

Steiner A. R.; Flammer S. A.; Beausoleil N. J.; Berg C.; Bettschart-Wolfensberger R.; Pinillos

R. G.; Golledge H. D. R.; Marahrens M.; Meyer R.; Schnitzer T.; Toscano M. J.; Turner P. V.; Weary D. M.; Gent T. C. (2019): Humanely Ending the Life of Animals: Research Priorities to Identify Alternatives to Carbon Dioxide. In: *Animals* 9 (11), S. 25. DOI: 10.3390/ani9110911

Straadt I. K.; Rasmussen M.; Andersen H. J.; Bertram H. C. (2007): Aging-induced changes in microstructure and water distribution in fresh and cooked pork in relation to water-holding capacity and cooking loss — A combined confocal laser scanning microscopy (CLSM) and low-field nuclear magnetic resonance relaxation study. In: *Meat Science*, 75 (4), S. 687–695. DOI: 10.1016/j.meatsci.2006.09.019

Terlouw E. M. C.; Rybarczyk P. (2008): Explaining and predicting differences in meat quality through stress reactions at slaughter: The case of Large White and Duroc pigs. In: *Meat Science* 79 (4), S. 795–805. DOI: 10.1016/j.meatsci.2007.11.013

Terlouw C. E. M.; Bourguet Cecile; Deiss Veronique (2016 a): Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part I. Neurobiological mechanisms underlying stunning and killing. In: *Meat Science* 118, S. 135-138. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.03.011

Terlouw C. E. M.; Bourguet Cecile; Deiss Veronique (2016 b): Consciousness, unconsciousness and death in the context of slaughter. Part II. Evaluation methods. In: *Meat Science* 118, S. 148. DOI: 10.1016/j.meatsci.2016.03.010

Terlouw C. E. M.; Deiss Veronique; Astruc Thierry (2021a): Comparing gas and electrical stunning on meat quality on pigs when pre-stunning physical activity is minimal. In: *Foods* 10 (2), S. 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10020319>

Terlouw C. E. M.; Deiss Veronique; Astruc Thierry (2021b): Stunning of pigs with different gas mixtures: Behavioural and physiological reactions. In: *Meat Science* 175, S.2-5. DOI: 10.1016/j.meatsci.2021.108452

Tilley L. P. (1992): *Essentials of Canine and Feline Electroencephalography. Interpretation and*

Treatment. Lea & Febiger, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 3rd edition, S. 1-95. ISBN-13 : 978-0812114430

Trevisan Laura; Brum Juliana S. (2020): Incidence of pale, soft, exudative (PSE) pork meat in reason of extrinsic stress factors. In: Agrarian Sciences 92 (83), S. 3-5. DOI: 10.1590/0001-3765202020190086

Machold, U.; Troeger, K.; Moje, Matthias (2003): Betäubung von Schweinen mit Kohlendioxid, Argon, Stickstoff-Argon-Gemisch oder Argon/Kohlendioxid (2-stufig) – Tierschutz.

Troeger K.; Machold U.; Moje M.; Behrschmidt M. (2004): Gasbetäubung von Schweinen: Ein Vergleich von Kohlendioxid, Argon und einer Stickstoff-Argon-Mischung bezüglich der Schlachtkörper- und Fleischqualität – 2. Ergebnisse. In: Fleischwirtschaft 84 (11), S. 117-121

Troeger K.; Machold U.; Moje M.; Behrschmidt M. (2005): Gas stunning of pigs. A comparison of carbon dioxide, argon, a nitrogen/argon mixture and argon/ carbon dioxide under meat quality aspects. 3. Summary and discussion of results; conclusions. In: Fleischwirtschaft 85 (5), S. 109–111.

Troeger K. (2008): Tierschutzgerechtes Schlachten von Schweinen: Defizite und Lösungsansätze. Kulmbach: Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, S. 36-38

Van de Perre V.; Permentier L.; De Bie S.; Verbeke G.; Geers R. (2010): Effect of unloading, pig handling, stunning and season on pH of pork. In: Meat Science 86 (4), S. 933. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.07.019

Velarde A.; M. Gispert; L. Faucitano; X. Manteca; A. Diestre (2000): Effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. In: Meat Science 55 (3), S. 309-314. DOI: 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. In: Meat Science 58 (3), S. 313–319. DOI: 10.1016/s0309-1740(01)00035-3

Velarde A.; Fàbrega E.; Blanco-Penedo I.; Dalmau A. (2015): Animal welfare towards sustainability in pork meat production. In: Meat Science 109, S. 13-17. DOI: 10.1016/j.meatsci.2015.05.010

Verhoeven M. T. W.; Gerritzen, M. A.; Hellbrekers, L. J.; Kemp, B. (2015): Indicators used in livestock to assess unconsciousness after stunning: a review. In: Animal 9 (2), S. 320-330. DOI: 10.1017/S1751731114002596

Verhoeven M.; Gerritzen, M.; Velarde, A.; Hellebrekers, L.; Baset, K. (2016): Time to loss of consciousness and its relation to behavior in slaughter pigs during stunning with 80 to 95% carbon dioxide. In: Frontiers of Veterinary Science, S. 1-10. DOI: 10.3389/fvets.2016.00038

VGT. (2017). Was bedeutet die CO₂ Betäubung. Welche tierschutzrelevanten Probleme entstehen bei der Betäubung mit Kohlenstoffdioxid und welche Alternativen gibt es dazu. Abgerufen am 24.06.202, von <https://vgt.at/presse/news/2017/news20170406y.php>

VGT. (2018). CO₂-Betäubung bei Schweinen: nach wie vor grausam. Abgerufen am 11.07.2021, von <https://vgt.at/presse/news/2018/news20181207mn.php#:~:text=Mindestens%2030%20Sekunden%20Todesqual&text=Deswegen%20erleiden%20die%20Schweine%20bei,erkl%C3%A4rt%20VGT%2DAktivistin%20Lena%20Remich.>

Viljoena H. F.; de Kocka H.L.; Webb E.C. (2002): Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. In: Meat Science 61 (2), S. 181-185. DOI: 10.1016/s0309-1740(01)00183-8

Warriss P. D. (2000): Meat science: An introductory text. CABI Publ.

14. Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abbildung 1	Betäubungsschema nach dem Paternosterprinzip	4
Abbildung 2	Schematische Darstellung der Ausstattung des Tieres mit Messtechnik	18
Abbildung 3a	Kontrollparameter zur Überprüfung des Betäubungserfolgs und ihre Wirksamkeit bezogen auf die unterschiedlichen Phasen der Betäubung: direkt nach der Betäubung	20
Abbildung 3b	Kontrollparameter zur Überprüfung des Betäubungserfolgs und ihre Wirksamkeit bezogen auf die unterschiedlichen Phasen der Betäubung: während des Entblutungsstiches	21
Abbildung 3c	Kontrollparameter zur Überprüfung des Betäubungserfolgs und ihre Wirksamkeit bezogen auf die unterschiedlichen Phasen der Betäubung: während dem Ausbluten	22
Abbildung 4	Sensorische Qualitätseinbußen	33
Abbildung 5	Flowchart zur Antragsstellung eines neuen beziehungsweise modifizierten Verfahrens	35
Abbildung 6	Vergleich des Betäubungsablaufes mit einer 80%igen CO ₂ -Konzentration und mit einer 95%igen CO ₂ -Konzentration	40
Abbildung 6	Tierverhalten zu verschiedenen Zeitpunkten	51
Abbildung 7	Helium-Betäubungsanlage	53

15. Tabellenverzeichnis

		Seite
Tabelle 1	Subjektive und objektive Verfahren zur Bewertung von Stressreaktionen der Schweine während der Betäubung gemessen werden	10
Tabelle 2	Hinweise auf den Zustand des Bewusstseins und der Bewusstlosigkeit	19
Tabelle 3	pH-Werte in Bezug auf die Fleischqualität	31
Tabelle 4	Vergleich zwischen CO ₂ -Gasbetäubung und elektrischer Betäubung bezüglich der Blutwertabweichungen während der Betäubung	39
Tabelle 5	Auswirkungen der O ₂ -Konzentration während der Betäubung auf die Schlachtschweine	45