

**Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben
(Projektteil des MRI)**

Untersuchungen zu nicht aversiv wirkenden Gasnarkoseverfahren für Schlachtschweine

Projektzeitraum 18.07.2011 bis 17.07.2012

gefördert von der Tönnies Forschung, gemeinnützige Gesellschaft zur Förderung der Forschung über die Zukunft des Tierschutzes in der Nutztierhaltung mbH

vorgelegt von Muriel Machtolf und Prof. Dr. K. Troeger
Max Rubner-Institut Kulmbach
Institut für Sicherheit und Qualität bei Fleisch
Arbeitsbereich Technologie

Kulmbach
2012

Inhalt

Abbildungsverzeichnis und Tabellenverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis.....	II
1. Einleitung.....	1
2. Zeit- und Arbeitsplan des Forschungsvorhabens.....	2
3. Vorversuche.....	3
3.1. Tiere und Material der Vorversuche	4
3.2. Methoden der Vorversuche	5
3.2.1. Betäubungsvorgang	5
3.3. Datenerhebung der Vorversuche	7
3.3.1. Tierverhalten während der Gasexposition.....	7
3.3.2. Untersuchung auf Blutpunkte in der Muskulatur.....	7
3.3.3. Untersuchung der Betäubungseigenschaften	7
3.4. Ergebnisse und Diskussion der Vorversuche	8
3.4.1. Tierverhalten während der Gasexposition.....	8
3.4.2. Blutpunkte in der Muskulatur	8
3.4.3. Betäubungseigenschaften.....	9
4. Hauptversuche.....	10
4.1. Tiere, Material und Methoden.....	10
4.2. Versuchstiergruppe (H1-H40)	10
4.2.1. Helium-Betäubungsanlage	11
4.2.2. Betäubung und Schlachtung.....	13
4.3. Kontrolltiergruppe (C1-C40).....	14
4.3.1. CO ₂ -Dip-Lift-Anlage.....	14
4.3.2. Betäubung und Schlachtung.....	14
4.4. Herrichtung und Lagerung der Schlachttierkörper.....	15
4.5. Erfassung tierschutzrelevanter Parameter	15
4.6. Erfassung von Schlachtkörper- und Fleischqualitätsparametern.....	16
4.6.1. Muskelkerntemperatur, pH ₁ und pH _{ULT}	17
4.6.2. Leitfähigkeitsmessung.....	17
4.6.3. Fleischfarbe	18
4.6.4. Bestimmung von Schlachtkörperschäden	18
4.6.5. Tropfsaftbestimmung	19
4.6.6. Sensorik und Grillverlust	19
5. Ergebnisse und Diskussion.....	20
5.1. Tierschutzrelevante Parameter.....	20
5.2. Schlachtkörper- und Fleischqualitätsparameter.....	23

Inhalt

5.2.1.	Muskelkerntemperatur, pH_1 und pH_{ULT}	24
5.2.2.	Leitfähigkeitsmessung.....	26
5.2.3.	Fleischfarbe	26
5.2.4.	Bestimmung von Schlachtkörperschäden	29
5.2.5.	Tropfsaftbestimmung	29
5.2.6.	Sensorik und Grillverlust	30
6.	Schlussfolgerungen	32
7.	Literaturverzeichnis.....	33
Anhang	1

Abbildungsverzeichnis und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Betäubungskonstruktion der Vorversuche	4
Abbildung 2: Messgerät Checkpoint (PBI Dansensor)	5
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Betäubungsverfahrens	6
Abbildung 4: Die Helium-Betäubungsanlage im Notschlachtraum	1
Abbildung 5: Softwareoberfläche Gasmessung	1
Abbildung 6: Betäubungskasten in abgesenkter Position.....	13
Abbildung 7: Schema Dip-Lift-Anlage	14
Abbildung 8: Leitfähigkeitsmessung Messstelle im SM	18
Abbildung 9: Farbmessung (Minolta)	18
Abbildung 10: Temperatur 45 min p.m. SM.....	24
Abbildung 11: Temperatur 45 min p.m. LD.....	25
Abbildung 12: Vergleich der pH-Werte 45 min p.m SM	26
Abbildung 13: Vergleich des L*-Wertes SM 48 h p.m.....	27
Abbildung 14: Vergleich des a*-Wertes SM 48 h p.m.	28
Abbildung 15: Vergleich des b*-Wertes SM 48 h p.m	28
Abbildung 16: Blutpunkte bei einem Kontrolltier	29
Abbildung 17: Aufgeschnittene Oberschale 36 h p.m	29
Abbildung 18: Auswertung der Sensorik SM.....	30
Abbildung 19: Auswertung der Sensorik LD.....	31
Abbildung 20: Ergebnis einer Schallpegelmessung (Anhang)	1

Tabellen

Tabelle 1: Zeitplan des Forschungsvorhabens.....	2
Tabelle 2: Ergebnisse der Videoauswertung und Untersuchung auf Blutpunkte in der Muskulatur von Tiergruppe 1 (S1-S5)	9
Tabelle 3: Ergebnisse der Videoauswertung und Untersuchung auf die Betäubungseigenschaften von Tiergruppe 2 (S6-10)	9
Tabelle 4: Beurteilungsschema der Aversionsstärke	15
Tabelle 5: Beurteilungsschema der Exzitationsstärke	16
Tabelle 6: Messstellen der Muskelgruppen (LD/SM).....	16
Tabelle 7: Übersicht der Untersuchungen je Versuchstag.....	16
Tabelle 8: sensorisches Bewertungsschema nach DLG.....	20
Tabelle 9: Ergebnis der Aversionsstärken Beurteilung	21
Tabelle 10: Ergebnisse der Exzitationsstärken Beurteilung	22
Tabelle 11: Klassifizierungsdaten.....	23
Tabelle 12: Ergebnis der Farbmessung LD	27
Tabelle 13: Sauerstoff- und Heliumkonzentrationen während der Versuchstierbetäubung (Anhang) ...	2

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AK	Acrylglaskasten
<i>M</i>	Arithmetischer Mittelwert
dB	Dezibel
DE	Deutsches Edelschwein
DL	Deutsche Landrasse
°C	Grad Celsius
HV	Hauptversuche
CO ₂	Kohlendioxid
KR	Kornealreflex
min	Minuten
mS	Millisiemens
SM	<i>M. semimembranosus</i>
LD	<i>M. longissimus dorsi</i>
NR	Nasenscheidewandreflex
NS	Nicht Signifikant
pH-Wert	negativ dekadischer Logarithmus der Protonenkonzentration
p.m.	post mortem
Pi	Pietrain
<i>SD</i>	Standardabweichung
s	Sekunden
h	Stunden
O ₂	Sauerstoff
P	Signifikanzniveau (P ≤0,5 signifikant, P ≤0,01 hoch signifikant, P ≤0,01 höchst signifikant)
VV	Vorversuche
%	Volumenprozent
ZNS	Zentrales Nervensystem
cm	Zentimeter

1. Einleitung

Laut Tierschutz-Schlachtverordnung (1997, zuletzt geändert 2006) muss bei allen Wirbeltieren vor der Schlachtung ein gesetzlich vorgeschriebenes Betäubungsverfahren angewendet werden, um ihnen unnötige Schmerzen und Leiden zu ersparen. Aber wie ist dieses Gesetz mit dem Tierschutz zu vereinen, wenn das Betäubungsverfahren selbst, der Einsatz von Kohlendioxid (CO₂) bei Schweinen zu Schmerzen oder Leiden der Tiere führt?

Innerhalb der Europäischen Union wird als Betäubungsverfahren vor der Schlachtung von Mastschweinen überwiegend die Gasbetäubung mit CO₂ eingesetzt (Passantino 2009). Die Vorteile einer Gasbetäubung im Vergleich zu physikalischen oder elektrischen Methoden sind, neben den Aspekten Schlachtleistung und Fleischqualität (Yang, Hawrysh et al. 1984; Channon, Payne et al. 2002), auch im Bereich des Tierschutzes zu finden. In modernen Gasbetäubungsanlagen können bis zu acht Mastschweine gemeinsam in einer Transportgondel mit CO₂ betäubt werden. Eine Vereinzelnung wäre für die Tiere mit einer höheren Stressbelastung verbunden. Auch der Zutrieb der Tiergruppe ist bei sog. CO₂-Backloader-Anlagen (Firma Butina) durch elektrische oder hydraulische Treibwände und ohne den Zutrieb durch das Schlachthofpersonal ein tierschonender Aspekt.

Die Kritik aus Sicht des Tierschutzes beruht auf der Auswahl des Gases. Die anästhesierende Wirkung von CO₂ setzt nicht unmittelbar bei Gaskontakt ein. Während der Einleitungsphase sind bei Schweinen Symptome der Hyperventilation mit deutlich ausgeprägter Atemnot zu erkennen (Raj and Gregory 1990). Nachweislich verlieren die Tiere erst einige Sekunden im Anschluss ihr volles Bewusstsein (Martoft, Lomholt et al. 2002). Regelmäßig wird in Studien auch auf weitere Reaktionen der Tiere in der Einleitungsphase hingewiesen, diese äußern sich in Form von sprungartigen Bewegungen und lauter Vokalisation. Während einige Autoren dies als unkontrollierte Muskelkontraktionen interpretieren (Ring, Erhardt et al. 1988), sehen andere Wissenschaftler hier den Versuch der Tiere, der Gasatmosphäre zu entkommen. Sie beschrieben dies als aversive Verhaltensreaktion (Raj and Gregory 1996). Aversiv bzw. die Aversion (lat. *aversatio*= Ekel) bedeutet in diesem Zusammenhang die Neigung eines Tieres, auf bestimmte Reize mit Abwehrverhalten zu reagieren.

Untersuchungen von Nowak 2007 ergaben, dass bei Blutanalysen von Mastschweinen, nach einer Betäubung mit 80 Volumenprozent (%) und 90 % CO₂, die Konzentrationen von Laktat, Adrenalin und Noradrenalin stark anstiegen (Nowak, Mueffling et al. 2007). Die Erhöhung dieser Parameter weist auf eine Stressreaktion der Tiere hin (Rosochacki, Piekarzewska et al. 2000; Hambrecht, Eissen et al. 2004)

Nach einem Gutachten der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFAS 2004) zu Tierschutzaspekten der wichtigsten Systeme zur Betäubung von Nutztierarten, lautet ihre Empfehlung, den Einsatz von CO₂ bei Mastschweinen schrittweise einzustellen und alternative Verfahren zu entwickeln. Bereits in der Vergangenheit gab es den Ansatz inerte Gase, Argon und Stickstoff, auch in Mischungen mit CO₂, zu verwenden (Raj and Gregory 1995; Raj 1999; Machold, Troeger et al. 2003; Dalmau, Llonch et al. 2010).

Zwar kamen diese Studien zu dem Urteil, dass vor allem der alleinige Einsatz von Argon sehr tierschutzgerecht sei, da die Tiere keine Reaktionen auf den Gaskontakt zeigten, jedoch stellt aufgrund negativer Auswirkungen auf die Schlachtkörperqualität, in Form von Blutpunkten in wertvollen Teilstücken, dieses Gas keine ökonomische Alternative dar (Troeger 2003).

Unabhängig von den Schlachtkörpermängeln wird, aufgrund der schonenden Möglichkeit der Betäubung, mit der neuen Verordnung der EG 1099/2009 zum Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Schlachtung, der Einsatz von Edelgasen als Gasbetäubungsverfahren für Schweine auch in Mischung mit CO₂ per Gesetz möglich (gilt ab 2013).

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde erstmals das Edelgas Helium, als nicht aversiv wirkendes Gas, zur Betäubung von Schlachtschweinen eingesetzt. Ziel der Untersuchungen war es, nach Feststellung der prinzipiellen Machbarkeit, eine Bewertung der Betäubungsmethode mit Helium im Vergleich zur herkömmlichen CO₂-Betäubung durchzuführen.

2. Zeit- und Arbeitsplan des Forschungsvorhabens

Tabelle 1: Zeitplan des Forschungsvorhabens

Projekt in Monaten													
Arbeitspaket (AP)	2011						2012						
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
1	■												
2		■											
3			■	■									
4				■	■								
5					■								
6						■							
7							■	■					
8								■	■	■	■	■	■
9									■	■	■	■	■
10											■	■	■

Arbeitsplan der Untersuchungen

Vorversuche

- AP 1** Literaturrecherche
- AP 2** Gasströmungsversuche, Erarbeitung einer Methode zur Befüllung von offenen Behältnissen (Glockenprinzip) mit Helium
- AP 3** Planung und Konstruktion einer Betäubungsanlage für Spanferkel bzw. Schweine bis 50 kg Lebendgewicht
- AP 4** Organisation und Durchführung der ersten Betäubungsversuche mit 10 Spanferkeln
- AP 5** Bewertung der Ergebnisse aus den Vorversuchen

Hauptversuche

- AP 6** Planung von parallelen Betäubungsversuchen mit Helium und CO₂
Integration der CO₂-Betäubungs-Anlage am städt. Schlachthof Kulmbach für die Kontrolltiergruppe, Anpassung der Versuchsschlachtungen an die regulären Schlachthofabläufe
- AP 7** Konstruktion einer Anlage zur Betäubung von Mastschweine mit Helium und
Installation im Notschlachtraum des Schlachthofes Kulmbach
- AP 8** Gasströmungsversuche und technischer Support der neuen Anlage
- AP 9** Durchführung der Hauptversuche ; Betäubung und Schlachtung von 80 Mastschweinen (> 70kg Lebendgewicht) einheitliche Herkunftsbetriebe und gleichen Transportbedingungen zum Schlachthof
- AP 10** Katecholaminanalyse (ELISA) und statistische Auswertung der Hauptversuche (Software-Pakete des NCSS/Orem Utah)

3. Vorversuche

Ziel der Vorversuche (VV) war es zunächst die Eigenschaften von gasförmigem Helium im Modell zu untersuchen. Nach Konstruktion einer Versuchsanlage sollte die Machbarkeit („Proof of Principle“) einer Betäubung an Schweinen geprüft werden.

Während der VV wurde eine Betäubungskonstruktion und Methodik entwickelt, um erstmals Helium zur Betäubung von Schweinen zu testen. Theoretischer Ansatz für den Aufbau einer Betäubungseinheit war, dass sich Helium aufgrund seiner geringeren Dichte als Luft (Helium $0,18 \text{ kg/m}^3$; Luft $1,20 \text{ kg/m}^3$) in vorgegebenen Räumen als Gasphase über der Atmosphäre, d. h. nach oben hin ausbreitet. Aus ökonomischen Gründen wurde Helium in Form von sog. Ballongas Helium 4.6 (Reinheit des Helium Anteils 99,996 Vol.%) eingesetzt.

Es mussten zunächst am Modell folgende Eigenschaften von Helium geprüft werden:

1. würde nach einer Befüllung von nach unten geöffneten Testbehältnissen mit Ballongas die Erzeugung einer stabilen Gasphase mit hohen Helium Konzentrationen möglich sein und
2. würde ein Absenkungsprozess und die so entstehenden Turbulenzen ohne größere Konzentrationsverluste einhergehen.

Da sich beide Versuchsbedingungen nach den ersten Strömungsversuchen als möglich erwiesen, konnte eine Konstruktion nach dem Glockenprinzip erstellt werden. Ein mit Helium gefüllter Betäubungskasten („Betäubungsglocke“) wurde über die Versuchstiere abgesenkt. In einer sauerstoffarmen Atmosphäre sollten die Versuchstiere ihr Bewusstsein verlieren.

Wissenschaftlicher Hintergrund der Betäubung mit Edelgasen ist die Erzeugung eines hypoxischen Zustands (Sauerstoffmangel), ohne dass ein Säugetier diesen registriert (Grassberger and Krauskopf 2007). Um eine Hypoxie auszulösen, die in möglichst kurzer Zeit zur Bewusstlosigkeit führt, muss der Anteil von Edelgasen soweit erhöht werden, bis der Gehalt des Sauerstoffs (O_2) im Atemgasgemisch des Tieres unter 2 % liegt. Die Folgen eines so massiven Sauerstoffmangels wirken sich zuerst am Zentralen Nervensystem (ZNS) aus und führen nach wenigen Sekunden zur Bewusstlosigkeit (Raj 1999). Der Bewusstseinsverlust geschieht ohne dass Kontrollmechanismen des Organismus aktiviert werden und erfolgt ohne Wahrnehmung des Tieres.

Durch die inerten Eigenschaften von Edelgasen gehen sie mit anderen chemischen Elementen keine Verbindung ein und haben auch keine Wechselwirkungen mit organischem Material. Dieser Aspekt stellt den entscheidenden Unterschied zur CO_2 -Betäubung dar. Zum einen wird CO_2 als Produkt des Stoffwechsel, über Chemosensoren im Säugetier detektiert. Ein Anstieg von CO_2 im Blut führt zur Steigerung der Atemfrequenz (Hyperventilation). Zum anderen ist es chemisch aktiv und reagiert beispielsweise in Verbindung mit Wasser zu Kohlensäure. Dieser Säuerungseffekt ist auch Grund für die narkotischen Eigenschaften (Eisele, Eger et al. 1967). Der Abfall des pH-Wertes im Liquor des ZNS führt zum Bewusstseinsverlust.

Beim Menschen entsteht beim Einatmen von höheren CO_2 Konzentrationen ein brennendes Gefühl auf den mit Flüssigkeit bedeckten Schleimhäuten wie im Bereich Mund und Nase sowie auf der Kornea der Augen (Anton, Euchner et al. 1992). Die Inhalation von CO_2 in einer Konzentration ab 55 % wird in der humanen Schmerzforschung daher als definierter Schmerzimpuls eingesetzt. Ungeklärt ist, ob dieser schmerzauslösende Reiz auch bei Schweinen entsteht (Lomholt 1983; Raj and Gregory 1996). Neuere Untersuchungen gehen auch der Frage nach warum beim Menschen die Inhalation von CO_2 zum Auslösen von Panikattacken und Angstgefühlen eingesetzt werden kann (Bailey and Nutt 2008). Aufgrund vieler analoger physiologischer Vorgänge bei Mensch und Schwein ist nicht auszuschließen, dass Schweine bei der CO_2 Betäubung ähnliche Zustände erleben.

3.1. Tiere und Material der Vorversuche

Im Rahmen der VV wurden bis Dezember 2011 an mehreren Versuchstagen insgesamt 10 Spanferkel (S1-S10) betäubt, davon 1 weibliches und 9 männlich-kastrierte Tiere. Die Schweine, von einem Ferkelerzeuger aus der Region Kulmbach, waren Gebrauchskreuzungen aus Deutsche Landrasse (DL), Deutsches Edelschwein (DE) und Pietrain (Pi).

Die Tiere wurden in zwei Versuchsgruppen unterteilt. Bei Tiergruppe 1 (S1-S5) wurde zusätzlich zu den Betäubungseigenschaften das Auftreten von Blutpunkten in der Muskulatur untersucht, bei Tiergruppe 2 (S6-S10) die Zeitspanne der anhaltenden Bewusstlosigkeit zu unterschiedlichen Gasexpositionszeiten.

Die Betäubungskonstruktion der VV wurde zunächst in einer Größenordnung konzipiert, um Schweine bis maximal 50 Kilogramm (kg) zu betäuben.

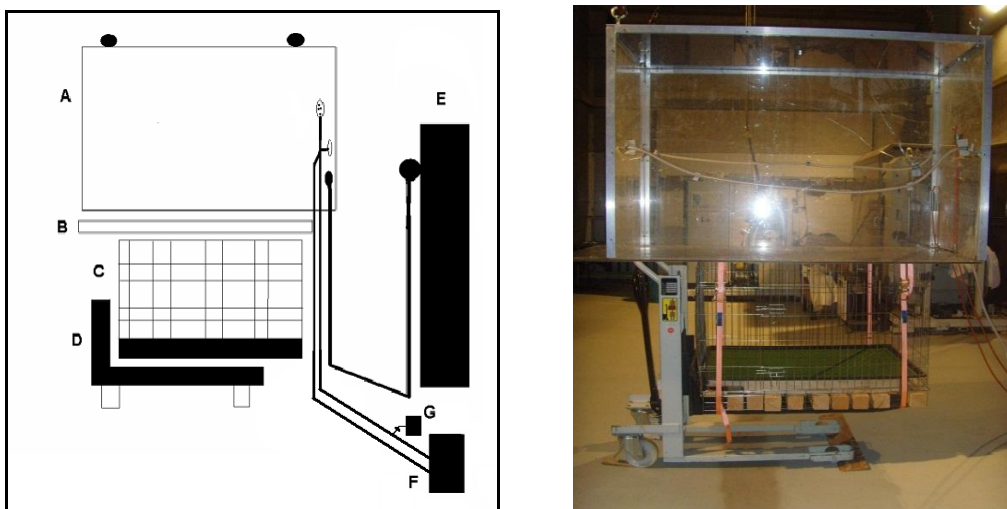


Abbildung 1: Betäubungskonstruktion der Vorversuche

links Schematische Darstellung, rechts Foto der Bauteile A-D

- A Acrylglaskasten (1,75 m Länge, 0,90 m Breite, 1,15 m Höhe) mit einer Anhängervorrichtung für einen Raum-Kran
- B einziehbare Bodenplatte aus Acrylglas (1,90 m Länge, 1,00 m Breite, 2 cm Schichtdicke)
- C Tierkäfig (120 cm Länge, 76 cm Breite, 86 cm Höhe) Zwischenboden aus Holz (Höhe 16 cm) mit rutschfester Bodenplatte
- D Hubwagen (Höhe der Lastenfläche 29 cm)
- E Helium-Flaschenbündel (4.6; 300bar) mit Druckminderer und Gewebeschlauch $\varnothing 10\text{mm}$,
- F Gasanflutung über eine Membranpumpe ($2,4\text{m}^3/\text{h}$) mit 2 Gummischlauchleitungen $\varnothing 6\text{mm}$
- G Sauerstoffmessung per Stichprobe (PBI Dansensor Checkpoint, Elektrochemischer O_2 Sensor, Nadelmessung) die Messung erfolgt aus dem Rückstromgummischlauch der Membranpumpe

Einzelne Elemente dieser ersten Betäubungsanlage wurden bereits während der VV modifiziert und für den späteren Einsatz an Mastschweinen durch andere Bauteile ersetzt. Eine detailliertere Beschreibung der endgültigen Baukonstruktion erfolgt daher im Abschnitt Hauptversuche (HV) (siehe 4.2.1).

Ein wesentlicher Unterschied der Versuchskonstruktionen bestand in der eingesetzten Messtechnik der Gaskonzentrationen. Hintergrund der Messungen war die Bestimmung des Zeitpunktes, an dem durch Einstrom von Helium, die Konzentration des O_2 auf unter 2 % verringert wurde und somit der Betäubungsvorgang eingeleitet werden konnte.

Im Rahmen der VV wurde das Messgerät Checkpoint (PBI Dansensor, Bendorf) verwendet. Das Messgerät wird in der Qualitätskontrolle von Schutzgasverpackungen für Fleisch eingesetzt um O_2 - und CO_2 - Konzentrationen zu ermitteln. Die Strichprobenentnahme zur Gasbestimmung wurde per Na-

delmessung durchgeführt und musste per Knopfdruck am Gerät als Einzelmessung erfolgen. Um die Durchführung der Analyse außerhalb der Betäubungsglocke durchführen zu können, wurde das Gasgemisch aus dem Betäubungskasten mit Hilfe einer Membranpumpe über einen Gummischlauch angesaugt. Angeschlossen am Ausstromventil der Pumpe, erfolgte eine Rückführung des Gasgemisches über eine weitere Gummischlauchleitung zurück in den Kasten. Aus der Schlauchleitung des Gasrückstroms wurde dann die Strichprobe entnommen (Abb.2).



Abbildung 2: Messgerät Checkpoint (PBI Dansensor)

Die Anzeige der O_2 Menge erfolgt in %. Über die Ermittlung des O_2 Gehaltes konnte rechnerisch näherungsweise auf die Helium-Konzentration geschlossen werden. Vereinfacht dargestellt betrug bei 100 % Luft der Anteil O_2 21 % und Helium 0 %. Nach Einstrom von Helium in die Betäubungsglocke wurde der Anteil von Luft verringert. Bei einem im Strömungsversuch ermittelten O_2 Gehalt von 2,1 % lagen theoretisch noch 10 % Luft und somit eine Helium Konzentration von 90 % vor. Im Rahmen der VV wurden O_2 Gehalte von $\geq 2,0$ % erreicht. Eine exakte Messung des Konzentrationsverlaufs von O_2 und Helium während der Versuche fand mit der in den HV eingesetzten Messtechnik statt und wird in diesem Zusammenhang näher erläutert (Kap. 4.2.1. und Abb. 5).

3.2. Methoden der Vorversuche

3.2.1. Betäubungsvorgang

Zu Beginn jedes Versuchstages wurden die einzelnen Elemente der Betäubungsanlage aufgebaut (VV Abb.1 bzw. HV Kap. 4.2.1 und 4.2.2). Die Betäubungsglocke bzw. der Acrylgaskasten (AK) (Material: Polymethylmethacrylat oder Plexiglas®) wurde mit Hilfe eines Raumkranes (VV) bzw. Aufzuges (HV) nach oben gezogen. Der Tierkäfig, auf dem eine Bodenplatte aus Acrylglas lag, wurde unter den AK positioniert. Der AK wurde bis auf die Bodenplatte abgesenkt. Für die HV wurde zum Zutrieb der Mastschweine eine Auftritt-Rampe vor dem Tierkäfig platziert, während der VV wurden die Spanferkel in den Käfig hinein gehoben.

Der Einstrom von Helium erfolgte dann durch Öffnung des Ventils am Flaschenbündel und konnte über einen Druckminderer (VV) bzw. Massendurchflussregler (HV) reguliert werden. Ein Gewebeschlauch (VV) bzw. eine Polyurethan-Schlauchleitung (HV) diente der Gasführung vom Flaschenbündel in das Innere des AK. Ziel war das Erreichen einer O_2 Konzentration von >2 % bzw. ein Helium Anteil von <90 %. Während der HV wurden im Mittel O_2 Konzentration von 1,5 % erzielt.

Waren die erforderlichen Konzentrationen zum Erzeugen einer Hypoxie erreicht, wurde ein Versuchsschwein in den Tierkäfig geführt. Im Tierkäfig hatten das Schwein einige Sekunden Zeit, sich mit der neuen Umgebung vertraut zu machen. In der Regel liefen sie im Käfig herum und erkundeten die Bodenfläche. Einige nahmen das in den VV ausgelegte Futter auf. Wenn die Tiere keine Anzeichen von Stress zeigten, wurde der Betäubungsvorgang gestartet.

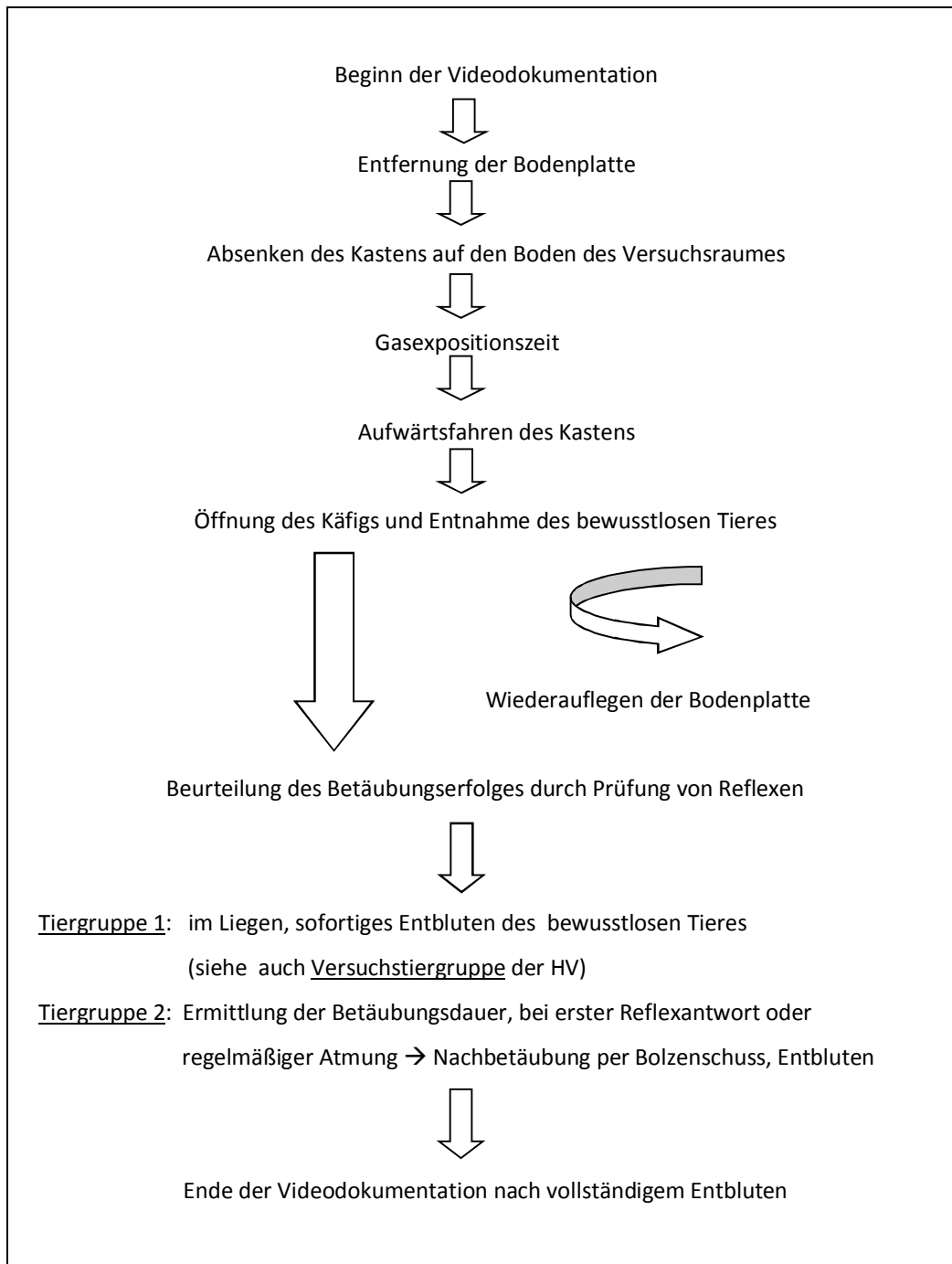


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Betäubungsverfahrens

Nach Entnahme der Tiere aus dem Käfig wurde der Betäubungserfolg überprüft. Um den Betäubungseffekt festzustellen wurden bei jedem Tier die folgenden Reflexe des Hirnstammes geprüft und die Atmung beobachtet. Beim Kornealreflex (KR) und auch Lidschlussreflex, wurde am geöffneten Auge des Tieres Druck auf die Kornea ausgeübt und auch die Wimpern der Tiere berührt, bei einem nicht tief betäubten Tier würde das Augenlid reflektorisch schließen.

Beim Nasenscheidewandreflex (NR) wurde versucht, einen Schmerzreiz auszulösen, indem die Nasenscheidewand bzw. das *Septum nasi* mit einem spitzen Gegenstand angestochen wurde. Ein schwach betäubtes Tier hätte mit einer Abwehrbewegung reagiert. Beide Testverfahren wurden mehrfach wiederholt, bis das Tier durch Blutentzug getötet wurde. Bei positiver Reflexantwort oder

dem einsetzen von regelmäßigen Atemzügen wurde ein Bolzenschussgerät (Typ KS, Gelbe Kartuschen, Schermer, Ettlingen) zur Nachbetäubung eingesetzt.

Bei der Versuchstiergruppe der HV wurde zusätzlich die Herzfrequenz auskultiert bis der Herzstillstand festgestellt werden konnte. Nach Eintritt des Todes durch Blutentzug, wurden bei Tiergruppe 1 und der Versuchstiergruppe die Herrichtung und Längsspaltung durchgeführt.

3.3. Datenerhebung der Vorversuche

3.3.1. Tierverhalten während der Gasexposition

Im Rahmen der VV standen die Erfassung des Tierverhaltens und die Kontrolle des Betäubungseffektes in Vordergrund. Alle Tiere wurden vom Zuführen der Tiere in die Betäubungseinheit bis zum vollständigen Entbluten gefilmt. Das dokumentierte Verhalten der Tiere bei Gaskontakt wurde auf Anzeichen von Aversion untersucht. Aversive Verhaltensweisen beim Schwein wären Fluchtanzeigen wie ein Zurückdrängen im Käfig, Vokalisation oder Sprünge gegen die Käfigwände. Zur späteren Analyse beinhaltete die Videodokumentation auch eine Zeiterfassung. Es erfolgte die Zeitmessung von erstem Gaskontakt bis zum Verlust des Stehvermögens der Tiere, um so die Zeitspanne bis zum Verlust des Bewusstseins zu erfassen. Um den Betäubungserfolg und die Dauer der Empfindungs- und Bewusstlosigkeit der Tiere nach verschiedenen Gasexpositionszeiten zu bestimmen, wurden unterschiedlich lange Betäubungszeiträume gewählt.

3.3.2. Untersuchung auf Blutpunkte in der Muskulatur

Die Betäubungsdauer der Tiergruppe 1 (S1 - S5) wurde so gewählt, das bei allen Tieren unmittelbar vor Verlassen der Heliumatmosphäre keine bzw. eine geringe Schnappatmungsfrequenz vorhanden war. In diesem Zustand sind große Teile des ZNS unterdrückt und Tiere bewusstlos. Nach Entnahme der Tiere aus der Betäubungskonstruktion wurden die Reflexprüfungen durchgeführt. Fand keine Reaktion der Tiere auf den KR und den NR statt, wurden die Tiere umgehend entblutet und geschlachtet. Nach Herrichtung und Längsspaltung fand am Folgetag die Beurteilung der Schlachtkörperqualität statt. Die Schlachttierkörperhälften wurden im Kühlraum des Max Rubner-Instituts als Untersuchungsmaterial bei 2 °C gelagert. Nach 24 Stunden (h) post mortem (p.m.) erfolgte an beiden Tierkörperhälften die Zerlegung in Teilstücke (DLG-Schema) und anschließend die makroskopisch Untersuchung nach Blutungen in der Muskulatur.

3.3.3. Untersuchung der Betäubungseigenschaften

Bei Tiergruppe 2 (S6-S10) stand, neben der Beobachtung des Betäubungsvorganges, die Erroierung der Zeitspanne, bis die Tiere wieder erste Reflexe zeigten (Dauer der tiefen Bewusstlosigkeit), bei verschiedenen Gasexpositionszeiten im Vordergrund. Des Weiteren wurde untersucht, welche Anzeichen (Reflexreaktionen oder regelmäßige Atemzüge) für ein Wiedererlangen des Bewusstseins nach der Helium-Betäubung auftraten und ob der Verlauf der Reaktionen einem einheitlichen Ablauf bei jedem Tier zeigen würde. Es sollte somit auch die Reversibilität einer Helium Betäubung nachgewiesen werden. Im Anschluss an die Gasexposition wurden daher die Ferkel dem Tierkäfig entnommen, auf den Boden des Versuchsraumes abgelegt, jedoch nicht sofort entblutet. Die Spanferkel konnten unter atmosphärischen Bedingungen wieder O₂ von 21 % aufnehmen. In Abständen von wenigen Sekunden wurde die Reflexprüfung durchgeführt und die Atmung der Tiere kontrolliert. Bei regelmäßigen Atemzügen oder positiver Reflexantwort wurden sie mit einem Bolzenschussgerät nachbetäubt und anschließend durch Blutentzug getötet. Das Auftreten von Blutpunkten wurde bei diesen Spanferkeln nicht untersucht, da eine zweite Betäubungsmethode zum Einsatz kam.

3.4. Ergebnisse und Diskussion der Vorversuche

3.4.1. Tierverhalten während der Gasexposition

Die Auswertung der Videodokumentation der 10 Versuchsbetäubungen zeigte bei allen Versuchstieren ein ähnliches Bild. Die Verhaltensstudie ergab, dass bei keinem der Spanferkel aversive Reaktionen auf die Gasexposition festgestellt werden konnten. Beim Absenken des mit Helium gefüllten Betäubungskastens zeigten die Tiere keine Verhaltensänderungen. Einige Tiere nahmen in der Heliumatmosphäre bis zum Verlust des Stehvermögens weiter ungestört Futter auf. Alle Spanferkel verloren nach durchschnittlich 20 Sekunden (s) das Stehvermögen (Tab. 2-3). Dem zum Liegen kommen der Tiere in Seitenlage, ging eine Phase von schwankenden Bewegungen voraus. Durch die nervale Hemmung des ZNS kam es im Anschluss zu unkontrollierten Muskelbewegungen sog. Exzitationen (Björkman, Miller et al. 2010). Die Exzitationen äußerten sich bei den Tieren in unterschiedlicher Intensität und Dauer. Im Rahmen der HV wurden Muskelkontraktionen anhand einer Bewertungsskala eingeteilt und die Dauer erfasst. Nach den Muskelexzitationen lagen die Tiere ruhig in Seitenlage und zeigten als einzige Bewegung der Tierkörper Atemzüge der sog. Schnappatmung. Hierbei handelt es sich um primitive Respirationsbewegungen, die vorwiegend durch Kopfmuskeln ausgeführt und reflektorisch über den *Nervus vagus* gesteuert werden (Hapke 1962). Sowohl Exzitations- als auch Schnappatmungsphase sind für die CO₂-Betäubung beschrieben. Mit zunehmender Hemmung, auch des Hirnstammes, verringert sich die Frequenz dieser Schnappatmungszüge bis das Endstadium der Betäubungstiefe, die Asphyxie, also ein Atemstillstand eintritt. Ein asphyxischer Zustand führt bei anhaltendem Sauerstoffmangel nach mehreren Minuten zum Tod (Edlinger E. et. al 1961). Für eine Tötung von Mastschweinen durch das Betäubungsverfahren werden bei der CO₂-Betäubung 10 min angegeben, da bei wissenschaftlichen Untersuchungen starke tierindividuelle zeitliche Schwankungen bis zum Eintritt des Todes festgestellt wurden. Werden die Tiere nicht einzeln beurteilt, kann erst nach dieser Zeitspanne in einer hypoxischen Atmosphäre sicher vom Tod des Tieres ausgegangen werden kann.

Für die Eruierung der benötigten Gasexpositionsdauer, um eine tiefe Betäubung von Schweinen in einer Helium-Atmosphäre zu erzeugen, wurden die ersten Versuchstiere unterschiedlich lange im Betäubungsgas belassen. Kriterium für die Beendigung der Betäubung war, dass die Schweine nur eine Schnappatmungs-Frequenz von maximal drei Zügen je min zeigten. Bei Tiergruppe 1 wurde dieser Zustand nach 195-150 s beobachtet und dann die Betäubung beendet. Die Entnahme aus dem Betäubungskasten erfolgte 10 s im Anschluss (Tab. 2). Nach Entnahme der Spanferkel waren alle fünf Versuchstiere bewusstlos und zeigten keine Reaktion auf die Reflexprüfung. Es wurde nach maximal 30 s der Entblutestich gesetzt und auch während des Ausblutens konnten keine Anzeichen auf ein Wiedererlangen des Bewusstseins festgestellt werden. Auch die Ferkel der Tiergruppe 2 waren nach Entnahme aus der Gasatmosphäre tief betäubt.

3.4.2. Blutpunkte in der Muskulatur

Nach der Entblutung der Tiergruppe 1 schlossen sich Herrichtung und Längsspaltung an. Nach 24 h p.m. erfolgte dann die Zerlegung der Schlachttierkörperhälften in Teilstücke. Das Ergebnis der Untersuchungen bezüglich Schlachtkörperqualitätsmängeln in Form von Blutpunkten war, dass bei drei Tieren (S2, 3 und 5) keine petechialen Blutungen auftraten (Tab. 2). Lediglich bei den Tieren S1 und 4 waren zum einen im Bereich der Oberschale bzw. der sog. Schwanzrolle und zum anderen im Bereich der Unterschale kleine Areale mit petechialen Blutungen zu finden.

Als Entstehungsursache von Petechien werden starke Muskelkontraktionen bei der Betäubung vermutet (Velarde, Gispert et al. 2000) und ein damit einhergehender Blutaustritt aus den Kapillaren sog. Rhexisblutungen (Gade 1997).

Exzitationen von juvenilen Schweinen in einer CO₂ Atmosphäre waren deutlich heftiger ausgeprägt als die von Mastschweinen (eigene Beobachtungen). Es wurde daher vermutet, dass die sehr starken Exzitationen der Spanferkel S1 und 4 ursächlich für die Blutpunkte waren, nicht das Betäubungsverfahren im Allgemeinen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Videoauswertung und Untersuchung auf Blutpunkte in der Muskulatur von Tiergruppe 1 (S1-S5)

Tier	Gewicht [kg]	Zeitspanne bis Verlust des Stehvermögens [s]	Zeitspanne der Gasexposition [s]	Auswurf-Entblute-Intervall [s]	Blutpunkte in der Muskulatur
S1	35	20	205	22	linke Oberschale u. Schwanzrolle, punktförmig insg. 5
S2	40	20	180	25	nicht vorhanden
S3	24	18	180	23	nicht vorhanden
S4	25	21	170	30	linke Unterschale, punktförmig insg. 3
S5	45	21	160	26	nicht vorhanden

3.4.3. Betäubungseigenschaften

Bei Tiergruppe 2 wurde Dauer und Tiefe der Betäubung nach unterschiedlichen Expositionszeiten überprüft (Tab. 3). Es wurden Betäubungszeiten von 70, 145, 170, 245 und 290 s gewählt. Bei Spanferkel S6, 7 und 8 war nach unterschiedlichen Zeitpunkten als erster Reflex der KR auslösbar. Nach dem Lidschluss des Tieres wurden diese mit einem Bolzenschussgerät erneut betäubt und anschließend durch Blutentzug getötet. Die Betäubungswirkung war bei Tier S6 mit 54 s, aufgrund der geringen Gasexpositionszeit von 70 s, am kürzesten. Bei Spanferkel S8 wurde nach 170 s Heliuminhalation eine konstante Betäubungswirkung von 90 s ermittelt. Bei Tier S7 war nach 100 s eine Reflexantwort gegeben. Spanferkel S9 zeigte nach 245 s Gasexposition rhythmische Atemzüge, der KR war negativ. Zur Vermeidung einer beginnenden Wahrnehmung wurde das Tier ebenfalls sofort nachbetäubt und entblutet. Bei dem Versuchsferkel S10 wurde die längste Gasexpositionszeit von 290 s gewählt. Dieses Tier hatte nach Entnahme aus der Betäubungsanlage einen blau, zyanotisch gefärbten Kopfbereich. Bei Überprüfung der Herzfrequenz konnte dieser nicht ermittelt werden, ein Ansprechen auf die Reflexe war nicht zu erkennen. Das Tier hatte keine wiederkehrenden Schnappatmungszüge und wurde nach wenigen Minuten für klinisch Tod befunden.

Tabelle 3: Ergebnisse der Videoauswertung und Untersuchung auf die Betäubungseigenschaften von Tiergruppe 2 (S6-10)

Tier	Gewicht [kg]	Zeitspanne bis Verlust des Stehvermögens [s]	Zeitspanne der Gasexposition [s]	Dauer tiefe Bewusstlosigkeit [s]	Anzeichen wiederkehrendes Bewusstsein
S6	33	16	70	54	KR
S7	42	15	145	100	KR
S8	25	21	170	90	KR
S9	35	12	245	110	rhythmische Atemzüge
S10	44	23	290	Tier zyanotisch verfärbt, kein Puls	keine

Die Erkenntnisse dieser Versuchsreihe waren, dass eine Betäubungsdauer >145 s für eine anhaltende Betäubung von 100 s der Spanferkel benötigt wurde. Die Betäubung mit Helium erzeugte bei Gasexpositionszeiten unterhalb der im Versuch ermittelten Dauer von 290 s eine reversible Bewusstlosigkeit. Ein Wiedererlangen des Bewusstseins der Tiere wurde im Versuch durch die Tiergruppe 2 bestätigt.

Aufgrund des Nachweises der Machbarkeit, den Ergebnissen aus der Verhaltensstudie, den Befunden der Zerlegung und der Dauer der Betäubungswirkung fanden in der Zeit von Dezember bis Januar 2012 die Planung und der Aufbau einer neuen Betäubungskonstruktion für die Versuchsreihe mit Mastschweinen statt.

4. Hauptversuche

Ziel der Hauptversuche war, die Helium Betäubung von Mastschweinen unter möglichst praxisnahen Bedingungen zu untersuchen. Es sollten Parameter bezüglich Tierschutz sowie Schlachtkörper- und Fleischqualität erhoben und einer kommerziellen CO₂-Betäubung gegenübergestellt werden. Durch Einsatz von einheitlichem Tiermaterial, ähnlichen Bedingungen vor der Betäubung sowie der analogen Verarbeitung p.m. waren beide Verfahren vergleichbar. Die Versuchsreihen wurden von drei Fleischermeistern, zwei Laborassistentin und drei Tierärzten begleitet.

4.1. Tiere, Material und Methoden

Die Betäubungsversuche fanden am städt. Schlachthof Kulmbach statt. Die Installation der Helium-Betäubungskonstruktion erfolgte in dessen Notschlachtraum. Zur Betäubung der Schlachtschweine mit CO₂ wurde die im kommerziellen Schlachtbetrieb eingesetzt Dip-lift-Anlage (Firma Butina, Dänemark) verwendet. Insgesamt wurden 80 Mastschweine von zwei Mästern aus der Region Oberfranken betäubt und geschlachtet. Die Tiere waren Gebrauchskreuzungen aus (Pi x DL) bzw. Pi x (DE x DL), davon 48 weibliche und 32 männlich-kastriert. Vor jedem Versuchstag wurden zehn Tiere einer einheitlichen Mastgruppe zum Schlachthof transportiert und gemeinsam in eine Wartebucht eingestallt. Die Tiere hatten Ruhezeiten von über 24 h. Am Morgen des Versuchstages wurden aus den zehn Tieren zwei Gruppen gebildet. Jeweils fünf Tiere wurden aus dem Wartestall heraus in einen Tiertransporter getrieben und zur Rückseite des Schlachthofgebäudes gefahren. Im dort angrenzenden Nebenraum des Notschlachtraumes wurden sie erneut eingestallt. Die verbliebenen fünf Tiere im Wartestall wurden als letzte Tiergruppe des Schlachttages der CO₂-Betäubung zugeführt.

4.2. Versuchstiergruppe (H1-H40)

Nach erneuter Einstellung im Nebenraum hatten die Tiere eine kurze Ruhezeit. Jeweils im Abstand von 45 min wurden die Tiere einzeln aus dem Nebenraum unter zur Hilfenahme von einem Treibrett über eine Wegstrecke von 5 m zum Notschlachtraum geführt. Dort gelangten sie über einen Treibgang zur Helium-Betäubungsanlage (Konstruktion des MRI).

4.2.1. Helium-Betäubungsanlage

Die Bauteile der Betäubungsanlage wurden aus den Einzelementen zu jedem Versuchstag aufgebaut und zusammengefügt, so dass der Versuchsraum für Notschlachtungen nach Abschluss des Untersuchungstages nutzbar war. Zwischen den Versuchstagen wurden die Bauelemente der Anlage in einem an die Notschlachthalle angrenzenden Betriebsraum aufbewahrt.

Die Konstruktion der Helium-Betäubungsanlage wurde an die Gegebenheiten des Notschlachtraumes angepasst. Die Elemente bestanden aus einem Treibgang mit einer Trittrampe, einem Tierkäfig mit stabilem Unterbau sowie einem Acrylgaskasten, der als Betäubungsglocke diente und bereits in den VV zum Einsatz kam (Abb. 4).



Abbildung 4: Die Helium-Betäubungsanlage im Notschlachtraum

rechts oben: Betäubungskasten (Acrylglas und Edelstahl); rechts unten: V-förmig Zaungitter und Zutriebsrampe, dahinter: Tierkäfig mit Untergestell

Die Betäubungsglocke aus Acrylglas hatte die Maße 1,75 m Länge, 0,90 m Breite, 1,15 m Höhe und wurde im unteren Teil an allen vier Seiten durch eine Edelstahlplatte um 40 cm verlängert. Die Höhe betrug somit insgesamt 1,55 m. Das Acrylglas hatte eine Stärke von 2 cm, die Edelstahlplatte 0,8 cm. Der nach unten offene Kasten wurde an dessen Oberseite mit einem Edelstahlgestell als Aufhängevorrichtung für einen elektrisch betriebenen Aufzug versehen. Mit Hilfe des Aufzuges konnte der Betäubungskasten im Raum auf- und abgesenkt werden. Im AK wurden auf einer Höhe von 1,05 m, gemessen vom unteren Ende des Kastens, insgesamt zehn sog. Schottsteckverbindungen durch die Acrylglaswand eingebaut. Diese wurden an der Außenseite des Betäubungskastens mit Kunststoffschläuchen aus Polyurethan (\varnothing 6mm) versehen und mit Hilfe T-förmiger Verteiler um alle vier Ecken um den Kasten geführt. Das Ende der Schlauchleitung mündete in einem Gasflussregler (MFC, red-y smart GSC, Firma Vögtlin, Schweiz), der auf der Oberseite des Kastens montiert war. Von dem Gasflussregler ausgehend wurde ein weiterer Kunststoffschlauch aus Polyurethan (\varnothing 8mm) in einer Entfernung von 3 m mit einem Druckminderer verbunden. Der Druckminderer war an ein Flaschenbündel Ballongas (Helium 4.6, 12 Flaschen je 60 Liter, Komprimiert mit 300 bar, Firma Riessner) angeschlossen. In eine Wand der Querseite des Betäubungskastens waren auf einer Höhe von 0,5 m Sensoren zur Messung von Sauerstoff (elektrochemischer Sensor, Serien Nr. 1001031001, Firma HTK

Hamburg) und Helium (Wärmeleitfähigkeitsmessung, TN_53, Firma HTK Hamburg) integriert. Über einen Binder-Kabelstecker wurden die Informationen der Sensoren zu einem Interface geleitet. Dieses wurde ebenfalls auf dem Dach des Kastens montiert. Das Interface war über ein 3 m langes Datenkabel mit einem Laptop verbunden. Mit Hilfe eines Softwareprogrammes der Firma HTK Hamburg und dem Gasflussregler, der ebenfalls über ein Datenkabel mit dem Laptop verbunden war, konnte die Gasflussmenge in l/min eingestellt werden. Es fand automatische Messung und Speicherung der Daten bezüglich der Gasmenge und den Konzentrationen von O₂ und Helium statt (Abb. 5).

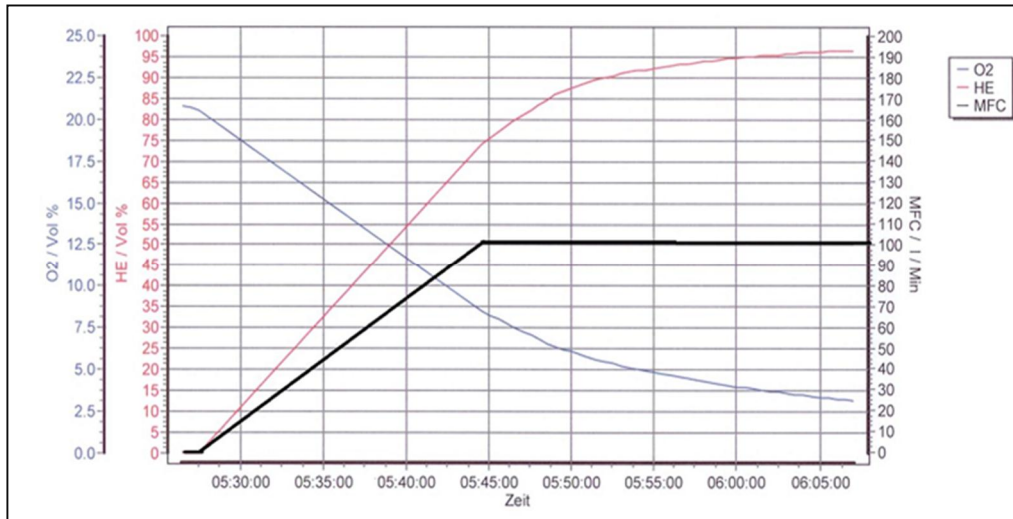


Abbildung 5: Softwareoberfläche Gasmessung

Kurvenverlauf Konzentrationen O₂, Helium (He) und die Gasströmungsmenge (MFC) zur Zeitachse

Als weiteres Bauteil wurde während des Gaseinstroms zwischen Betäubungskasten und Tierkäfig eine Acrylglasplatte eingeschoben (Maße 1,90 m Länge, 1,00 m Breite, 2 cm Schichtdicke). Des Weiteren wurde ein Tierkäfig eigener Konstruktion aus Stahl mit den Maßen 1,6 m Länge, 0,7 m Breite und 0,8 m Höhe verwendet. Sowohl eine Längs- als auch eine Querseite des Käfigs waren mit abnehmbaren Gittern zum Öffnen und Verschließen versehen. Der Tierkäfig wurde durch ein Untergestell aus Edelstahl um 0,6 m zusätzlich erhöht und hatte eine Gesamthöhe von 1,4 m. Der Tierkäfig wurde exakt unter dem aufwärtsgezogenen Betäubungskasten platziert. Nach Absenken des Kastens auf den Boden des Notschlachtraumes, schloss dieser bis auf 15 cm mit dem oberen Ende des Tierkäfigs ab. In abgesenkter Position waren die Gassensoren somit wenige Zentimeter unterhalb der Bodenfläche des Tierkäfigs. In das Untergestell des Tierkäfigs war eine Zutriebsrampe eigener Konstruktion einsteckbar. Die Trittrampe, mit einer Länge von 1,6 m, einer Breite von 0,65 m und einer Seitenverkleidung aus Holz mit einer Höhe von 0,9 m, war auf der Auftrittsfläche zusätzlich mit Holzstreben im Abstand von 10 cm versehen. Die Zutriebsrampe hatte einen Steigungswinkel von in etwa 8 Grad. Als Treibgang wurden rechts und links der Zutriebsrampe Zaungitter (Firma Patura, Laudenburg) aufgestellt und verliefen keilförmig auf die Rampe zu.

Zur Inbetriebnahme der Anlage wurde zunächst der Betäubungskasten mit dem elektrischen Aufzug des Notschlachtraumes verbunden. Dann wurden die Stromversorgung und die Verbindungskabel des Gasreglers und der Messsensoren angeschlossen. Nach dem Start des Softwareprogrammes wurde eine Messung der Atmosphäre durchgeführt und die Sensoren überprüft. Die Anzeige musste für Helium den Wert 0 % und für O₂ den Wert von 20,9 % angeben. Im Anschluss wurde das Gasventil des Flaschebündels geöffnet und der Druckminderer auf 10 bar eingestellt. Über die Bedienoberfläche der Software wurde ein Gasfluß von 100 l/min eingestellt.

Im Anschluss wurde der Betäubungskasten auf eine Höhe in 3,2 m hinaufgezogen. Unter dem Kasten wurde der Tierkäfig ausgerichtet, die Querseite des Käfigs entnommen, die Zutriebsrampe eingeführt

und die Acrylglasplatte auf den Tierkäfig gelegt. Der Betäubungskasten wurde bis zum Aufsetzen auf die Platte darüber abgesenkt. Zur Befüllung des Kastenvolumens von $2,44\text{m}^3$ wurden bei 100 l/min Strömungsmenge 30 min benötigt. Es wurde im Mittel eine Helium-Konzentrationen von $98,5\%$ und eine O_2 -Konzentration von $1,5\%$ erreicht. Kurz vor dem Zutrieb des Tieres wurde der Gasfluß auf 10 l/min reduziert. Der Gasverlust zwischen zwei Betäubungen, bedingt durch den Einstrom von Sauerstoff bei der Aufwärtsbewegung des Kastens, wurde jeweils durch erneuerten Gasstrom mit 100 l/min ausgeglichen.

4.2.2. Betäubung und Schlachtung

Der Zutrieb des Versuchstieres in den Notschlachtraum, über eine Wegstrecke von 5 m , wurde unter zu Hilfenahme eines Treibbrettes von 3 Personen durchgeführt. Nach Überwinden der Trittrampe kamen die Tiere im Käfig zum Stehen, im Anschluss wurde die Querseite des Käfigs verschlossen, die Rampe entfernt und der Betäubungsvorgang nach dem beschriebenen Schema (Kapitel 3.3.1, Abb.3) ausgeführt.

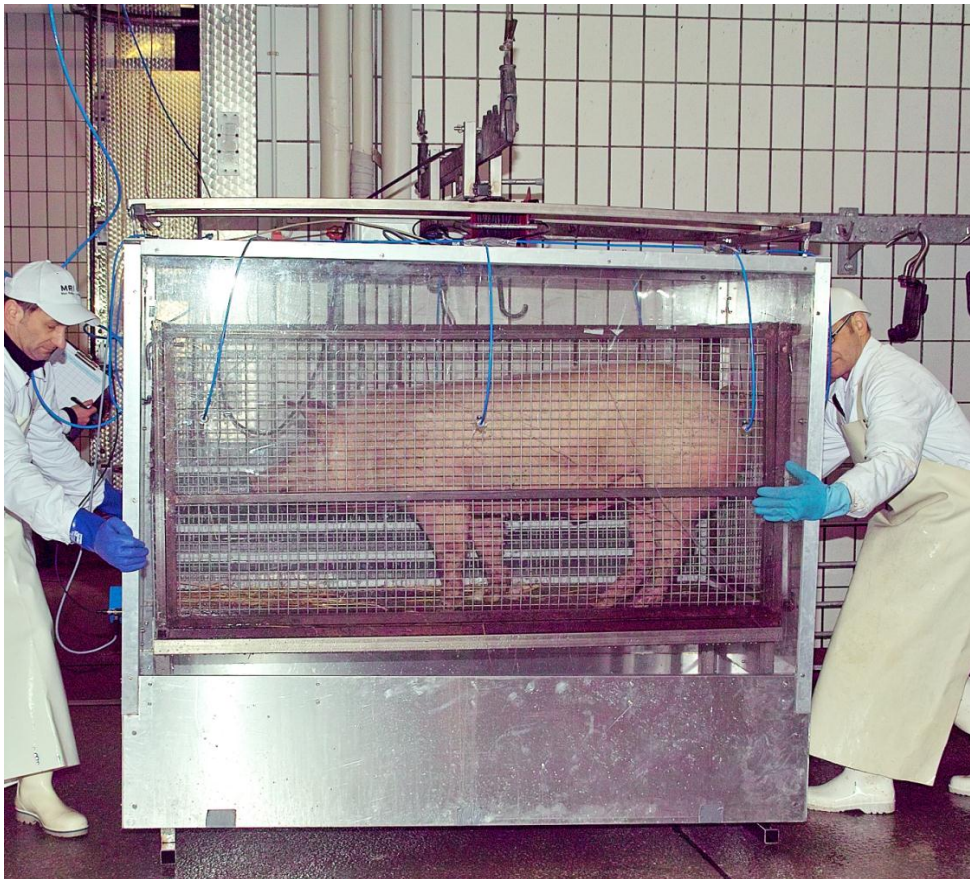


Abbildung 6: Betäubungskasten in abgesenkter Position

Nach der 180 s andauernden Gasexposition wurden die bewusstlosen Mastschweine, nach Entfernung des Gitters der Längsseite, dem Käfig entnommen und auf dem Boden des Raumes abgelegt. Nach der Reflexprüfung wurde der Entblutestich von einem Fleischermeister im Liegen des Tieres ausgeführt und zeitgleich das Herz des Tieres mit einem Stethoskop auskultiert, bis kein Herzschlag mehr zu vernehmen war. Aus dem Stichblut wurde eine Probe zur späteren Analyse der Blutkonzentration von Katecholaminen (Stressindikatoren) entnommen. Nach vollständiger Entblutung wurde die Hintergliedmaße des toten Tieres angeschlungen und mit einem Rinderaufzug angehoben. Das Tier wurde in einen Brühkessel geführt und bei 60 °C für 3 min gebrüht. Nach Entnahme des Schwei-

nes wurde es manuell per Messerklinge entborstet und die verbliebenen Haare abgeflammt. Es wurde eine Markierung des Tieres mit der Versuchstiernummer durch Beschriftung (lebensmittelgeeigneter Stift) auf Höhe des Karpalgelenkes durchgeführt. Im Anschluss wurde der Schlachtkörper auf einem Transportwagen aus Edelstahl in die angrenzende Schlachthalle gefahren. Die Schlachtkörper wurden dort am sog. Flechtisch in die Schachtlinie der kommerziellen Tagesschlachtung von Mastschweinen integriert. Die weitere Beschreibung der Herrichtungsschritte verlief dann bei Versuchstier- und Kontrolltiergruppe analog (siehe 4.5).

4.3. Kontrolltiergruppe (C1-C40)

Die fünf Mastschweine der Kontrollgruppe im Wartestall wurden als letzte Tiergruppe des Schlacht-tages über eine Strecke von 8 m gemeinsam bis kurz vor die CO₂-Anlage getrieben. Die Tiere wurden einzeln in die Gondel der Betäubungsanlage, nur unter zu Hilfenahme von einem Treibbrett, geführt. Der zeitliche Abstand je Tier betrug in etwa 4 min.

4.3.1. CO₂-Dip-Lift-Anlage

Die Betäubungsanlage vom Typ Dip-Lift wird von der Firma Butina (www.butina.dk) hergestellt.

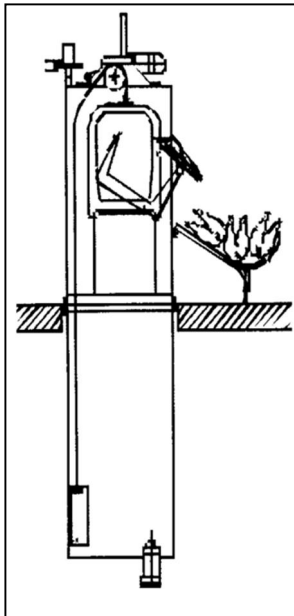


Abbildung 7: Schema Dip-Lift-Anlage

Bei diesem Anlage-Typ ist eine Gondel für maximal drei Schweine vorhanden. Die Tiere wurden an der Querseite in eine Gondel getrieben. Der Betäubungszyklus bestand aus der Abfahrt der Gondel in eine 3 m tiefe Betongrube, dem Anhalten der Gondel am Boden in der CO₂-Atmosphäre mit der höchsten Konzentration und der Auffahrt der Gondel. Nach der Auffahrt der Gondel wurde diese an der Längsseite gekippt, so dass die betäubten Tiere in eine Auffangwanne zu liegen kamen (Abb. 7). Die Dip-Lift-Anlage war mit CO₂-Sensoren ausgestattet und strömte automatisch Gas nach, wenn die Konzentration >90 % sank.

4.3.2. Betäubung und Schlachtung

Der Betäubungszyklus der Dip-Lift-Anlage dauerte 130 s. Ab Beginn der Abfahrt der Tiere wurden diese per Videokamera gefilmt. Nachdem die Tiere bewusstlos in der Auffangwanne lagen, wurden sie an einer Hintergliedmaße angeschlossen und über einen Schlachthaken mit der Rohrbahn verbunden. Dort fand der Entblutestich im Hängen durch den Kopfschlächter des Schlachthofes statt.

Aus dem Stichblut wurde wie auch bei der Versuchstieren eine Blutprobe entnommen. Im Anschluss fand die Markierung des Tieres an der Vordergliedmaße statt. Nach der Entblutestrecke gelangten die Tiere in einen Kondensations-Brühtunnel und in eine Enthaarungs- und Abflammmaschine.

4.4. Herrichtung und Lagerung der Schlachttierkörper

Alle Schlachttierkörper (Versuchs- und Kontrolltiergruppe) wurden ab dem sog. Flechtisch analog behandelt. Hier wurden Klauenschuhe, Augen und der innere knorpelige Anteil des äußeren Gehörganges entfernt. An dieser Position wurden auch die Kontrolltiere zusätzlich zu der Markierung mit der fortlaufenden Versuchsnummer versehen. Die Schlachtkörper wurden beidseits in der Achillesferse eingeschnitten und jede Hintergliedmaße mit einem Schlachthaken erneut an der Rohrbahn angehängt. Es folgten die Verarbeitungsschritte: Längsspaltung, Ausweidung, Entfernung von ZNS und Rückenmark, Lösen des Flomens und der Nieren aus der Fettkapsel. Nach amtlicher Fleischuntersuchung wurde auch die Klassifizierung (Hennessy-Grading-System) durchgeführt. An einer Arbeitsbühne wurden 45 min p.m. die ersten Parameter bezüglich der Fleischqualität erfasst.

4.5. Erfassung tierschutzrelevanter Parameter

Dokumentiert wurde jeweils das Verhalten der Tiere in den Betäubungsanlagen Helium und CO₂. Videoaufzeichnungen ermöglichten eine detaillierte Analyse des Verhaltens sowie die Erfassung von Zeitintervallen. Beurteilt wurden die Aversivität der Tiere bei Gaskontakt nach den folgenden Kriterien (Tab. 4). Bei den Kontrolltieren wurden zusätzlich Schallpegelmessungen durchgeführt, um mögliche Lautäußerungen bzw. Schreien der Tiere bei Kontakt mit CO₂ in ihrer Ausprägung zu erfassen.

Tabelle 4: Beurteilungsschema der Aversionsstärke

Aversionsstärke	Beurteilungskriterien
0	keine erkennbare Reaktionen der Tiere
1	Zurückdrängen in der Gondel/Tierkäfig
2	1 mit zusätzlich nach oben Strecken des Kopfes und/ oder Maulatmung, z. T. in hundesitzartiger Stellung (Atemnot-Symptomatik)
3	1 und 2 mit zusätzlichen Sprüngen nach oben (Fluchtversuche) in der Gondel sowie möglicher Vokalisation (Stressreaktion)

Des Weiteren wurde die Zeitdauer bis zum Bewusstseinsverlust der Tiere bestimmt, gekennzeichnet durch einen Verlust des Stehvermögens. Neben der Dauer wurde auch die Stärke der Exzitationen erfasst und beurteilt.

Tabelle 5: Beurteilungsschema der Exzitationsstärke

Exzitationsstärke	Beurteilungskriterien
0	keine Exzitation
1	leichtes Muskelzittern der Rumpfmuskulatur sowie ange-deutet Laufbewegungen der Extremitäten
2	mittlere bis starke Muskelspasmen mit Streckkrämpfen der Rückenmuskulatur, möglicher Ophistotonus und leichten oder gelegentlichen Paddel- bzw. Laufbewegungen
3	starke Muskelspasmen mit Streckkrämpfen der Rückenmuskulatur und heftigen Laufbewegungen, die bis zum Überschlagen des Tiere oder Bewegungen um die eigene Achse führen

Es wurden weiter die Betäubungsdauer und das Auswurf-Entblute-Intervall ermittelt. Vom Stichblut jedes Tieres wurden mehrere Proben entnommen, mit EDTA versetzt, zentrifugiert und bei -80 °C gelagert. Die Katecholamine in den Proben sind durch dieses Verfahren ein Jahr stabil. Nach Beendigung aller Versuchstage fand die Analyse mit enzymgekoppelten Immunadsorptionstest (ELISA) statt. Die Konzentrationen der Katecholamine bzw. Adrenalin und Noradrenalin sollten mit dem 2-CAT Plasma ELISA (Ba E-4500, Firma Biotrend, Köln) bestimmt werden. Bei dem Test-Kit handelt es sich um ein Nachweisverfahren aus der Humanmedizin und soll im Rahmen des Projektes erstmals für Schweineblut eingesetzt werden.

4.6. Erfassung von Schlachtkörper- und Fleischqualitätsparametern

Alle Parameter wurden jeweils an den linken Tierkörperhälften erhoben. Die Messung wurden im Bereich des Schinkens und im Kotelett durchgeführt, im Weiteren als *Muskulus semimembranosus* (SM) bzw. *Muskulus longissimus dorsi* (LD) bezeichnet. Die Messstellen entsprachen den Angaben in der AVV Lebensmittelhygiene (2009).

Tabelle 6: Messstellen der Muskelgruppen (LD/SM)

Muskelgruppe	Messstelle
Schinken (SM)	ca. 5 cm vom kaudalen Ende der Beckensymphyse („Schloss“) im Winkel von 120° oberhalb der Symphyse
Kotelett (LD)	zwischen dem 13. und dem 14. Dornfortsatz der Brustwirbelsäule in der Tiefe des Muskels

Tabelle 7: Übersicht der Untersuchungen je Versuchstag

Versuchstag	Untersuchung

Tag 0	- Anlieferung und Aufstallung der Mastschweinen am Schlachthof Kulmbach
Tag 1	- Betäubung und Schlachtung der Versuchstier- und Kontrolltiergruppe - Herrichtung und Klassifizierung - 45 min p.m Messung pH₁-Wert und Muskelkerntemperatur - Lagerung der rechten Schlachtkörperhälften, Kühlhaus 2°C
Tag 2	- Messung pH_{ULT} und Muskelkerntemperatur - Messung der Leitfähigkeit - Messung der Fleischfarbe (L*, a*, b*) - Zerlegung der Tierkörperhälften nach DLG-Schema und Untersuchung der Teilstücke auf petechiale Blutungen - Probenahme für Sensorik und Tropfsaftbestimmung - Lagerung der Oberschale
Tag 3	- Aufschneiden der Oberschale in Scheiben zu 1,5 cm und Untersuchung der Oberschalen-Scheiben auf petechiale Blutungen - Farbmessung und fotografische Dokumentation - Sensorik - Erfassung des Grillverlustes
Tag 4	- Bestimmung des Tropfsaftverlustes

4.6.1. Muskelkerntemperatur, pH₁ und pH_{ULT}

Zur Bestimmung des pH-Wertes im Fleisch kam das pH-Meter (Portamess Typ 913, Knick, Berlin) zum Einsatz. Die Messung erfolgte elektrometrisch mit einer Glaselektrode. Da der pH-Wert temperaturabhängig ist, wurde parallel mit einer Temperatursonde (Pt 1000, Typ ZU 0156, Knick, Berlin) die Kerntemperatur der Muskelanteile ermittelt.

Das pH-Meter wurde vor jedem Untersuchungstag mit Pufferlösungen geeicht. An der Tierkörperhälfte wurde 45 min nach der Entblutung der pH₁ bestimmt. Die Messstelle wurde mit einem Dorn vorgestochen und der Temperaturfühler wenige Zentimeter versetzt in den Muskelanteil eingesteckt. An jeder Muskelgruppe wurden 4 Messwerte erhoben. Anschließend an die Bestimmungen wurden die gekennzeichneten Tierkörperhälften in den Kühl tunnel des Schlachthofes verbracht und nachfolgend im Kühlhaus bei 2 °C gelagert. Nach 24 h p.m. wurden im gleichen Verfahren pH_{ULT} und erneut die Muskelkerntemperaturen ermittelt.

4.6.2. Leitfähigkeitsmessung

Ebenfalls 24 h nach der Schlachtung wurde die elektrische Leitfähigkeit mit dem Gerät LF-Star (Fa. Matthäus, Pöttmes) in der Einheit mS/cm ermittelt. Die Leitfähigkeit ist abhängig von der Durchlässigkeit bzw. den Läsionen der Muskelzellmembranen. Bei einem intakten Muskel ist die Leitfähigkeit gering, da sich wenig Flüssigkeit im Extrazellarraum befindet. Es wurde jeweils in standardisierter Tiefe gemessen.

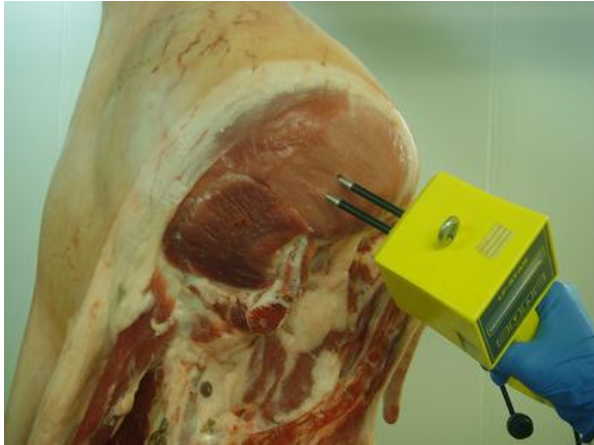


Abbildung 8: Leitfähigkeits- Messstelle im SM

4.6.3. Fleischfarbe

Die Messung der Farbe ($L^*a^*b^*$ - Werte) wurde mithilfe des Chroma-Meters CR-300 (Minolta, Osaka, Japan) ausgeführt. Die drei Koordinaten L^* (Helligkeitsachse), a^* (Rot-Grün-Achse, „Farbton“) und b^* (Gelb-Blau-Achse, „Farbsättigung“) charakterisieren dabei die Farbe der Probe. Vor jeder Messperiode fand eine Kalibrierung mit einem Weißstandard (CIE-Normlichtart D65) statt. Es erfolgten drei Einzelmessungen je Untersuchungsmuskel, jeweils 30 min nach einem frischen Anschnitt und an blutungs- und fettfreien Flächen. Insgesamt wurden drei Messungen an unterschiedlichen Untersuchungsstellen bzw. Zeitpunkten durchgeführt.

Als erste Messung wurde an den Schlachtkörperhälften 24 h nach der Schlachtung im Bereich des SM die Farbe ermittelt. Des Weiteren wurde an der als Tropfsaftprobe entnommenen Fleischscheibe aus dem LD vor der weiteren Bearbeitung eine Messung durchgeführt.

Als dritte Messung wurde die Fleischfarbe des SM am Teilstück Oberschale 48h p.m bestimmt. Hierfür wurde die Oberschale in definierte Scheiben von 1,5 cm Breite aufgeschnitten und eine Fleischscheibe nach dem beschriebenen Verfahren gemessen (Abb.9).



Abbildung 9: Farbmessung (Minolta)

4.6.4. Bestimmung von Schlachtkörperschäden

Im Anschluss der Messungen an den Tierkörperhälften fand die Zerlegung in einem dem Schlachthof angegliederten Bearbeitungsraum statt. Bezüglich der Schlachtkörperqualitätsmängel wurde das

Vorkommen von petechialen Blutungen untersucht. Hierzu fand die Zerteilung der Schlachtkörperhälften in Teilstücke nach der DLG Schnittführung (Arbeitsunterlagen DLG, 1985) statt. Jedes Teilstück wurde makroskopisch auf das Vorkommen von petechialen Blutpunkten beurteilt. Eine LD-Teilstück von 15 cm und das Teilstück Oberschale im Ganzen, ohne Haut und Knochen, wurden als Probenmaterial in einem Plastikbeutel bei 2 °C gelagert. Der für Lebensmittel geeignete Beutel wurde zuvor mit der Versuchsnummer gekennzeichnet. Die gelagerten Proben von LD und SM wurden 24 h nach der Zerlegung in Scheiben zu je 1,5 cm Breite aufgeschnitten und die Schnittflächen zusätzlich auf Blutpunkte untersucht. Die Schnittflächen von LD und SM wurden zudem unter gleich bleibenden Belichtungsbedingungen fotografiert. Jeweils eine Fleischscheibe diente der sensorischen Untersuchung.

4.6.5. Tropfsaftbestimmung

Die Bestimmung des Tropfsaftes wurde zur Ermittlung des Wasserbindungsvermögens eingesetzt. Dieses wird definiert, als das Vermögen des Fleisches, Wasser, sei es eigenes oder auch zugesetztes, ganz oder auch nur teilweise festzuhalten (Branscheid, Honikel et al. 2005). Als Probenmaterial wurde an einer zuvor markierten Stelle an der Schlachttierkörperhälfte im Bereich des 13. und 14. Brustwirbels, eine 2,5 cm breite Fleischscheibe aus dem Kotelett-Strang herausgeschnitten. Nach Messung der Farbe, wurde die Probe vom anhaftendem Fett und Bindegewebe befreit, mit einem Papiertuch kurz abgetupft und gewogen. Im Anschluss wurde ein Metallstab im oberen Bereich durch die Scheibe hindurch gestochen, um sie nachfolgend in einen Plastik-Behältnis frei hängend, mit einem Deckel verschlossen in einem Kühlraum bei 5 °C über einen Zeitraum von 48 h zu lagern. Danach erfolgte erneut die Gewichtsbestimmung der Fleischscheibe und die Berechnung des relativen Tropfsaftverlustes (Verfahren nach Honikel, 1998).

4.6.6. Sensorik und Grillverlust

Nach 48 h p.m wurde von beiden Muskelgruppen eine Fleischscheibe für die sensorische Prüfung verwendet. In einer verschlüsselten Aufteilung von Versuchstier- und Kontrolltiermaterial wurden die Proben einer Reihenfolge zugeteilt. Nach Einwaage wurden diese mit Alufolie umwickelt und mit der Nummerierung 1-10 versehen. Die Proben LD und SM wurden in jeweils einer Prüfung durch sechs DLG-zertifizierte Sensoriker beurteilt.

Zu diesem Zweck wurden die verpackten Fleischscheiben in einem Kontaktgrill (Kontaktgrill S-Tronic161, Silex Elektrogeräte GmbH, Hamburg) 3 min 11 s gegart (Erhitzungstabelle gemäß Bundesforschung für Fleisch, 2000). Im Anschluss wurden sie der Alufolie entnommen und das Gewicht der gegrillten Fleischscheiben ermittelt. Nach Zerteilung in Würfel zu 4 cm² wurden die Proben verteilt. Die Prüfung hatte die Bewertung der sensorischen Qualität zum Ziel, resultierend aus der Interaktion der wichtigsten sensorischen Eigenschaften: Zartheit, Saftigkeit und Aroma (Koochmarai, Kent et al. 2002).

Die sensorischen Eigenschaften wurden nach dem 6-Punkte-Schema der DLG (2009) bewertet. Die Einwaage abzüglich des ermittelten Gewichts nach dem Grillprozess, diente abschließend der Ermittlung des relativen Grillverlustes beider Muskelgruppen.

Tabelle 8: sensorisches Bewertungsschema nach DLG

Punkte	Qualitätsbeschreibung
6	sehr gut
5	gut
4	zufriedenstellend
3	weniger zufriedenstellend
2	nicht zufriedenstellend
1	ungenügend

5. Ergebnisse und Diskussion

Die Betäubungsversuche wurden Ende Mai 2012 abgeschlossen. Es folgte die Analyse von 240 min Videomaterial. Von Juni bis Juli 2012 fand die Bearbeitung der Blutprobenanalyse im Labor des MRI statt. Im Anschluss wurden die Daten mit Hilfe der Software-Programme Microsoft Excel und NCSS tabellarisch verwaltet und statistisch ausgewertet. Die Daten bezüglich der Fleischqualität wurden auf Normalverteilung geprüft und wenn nötig, Extremwerte eliminiert. Um signifikante Unterschiede beider Betäubungsverfahren zu eruieren, wurden nicht normalverteilte Datensätze mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Test überprüft. Bei normalverteilten Daten wurde der T-Test durchgeführt. Die unabhängigen Variablen waren die Betäubungsmethoden Helium oder CO₂. Bei der Darstellung der Messwerte in Form von sog. Box-Plots wurden die Extremwerte mit angegeben.

Die Datensätze bezüglich der ermittelten Helium- und O₂-Konzentrationen der Versuchsbetäubungen werden im Anhang aufgelistet (Tab. 14).

5.1. Tierschutzrelevante Parameter

Wie auch während der VV zu beobachten war, zeigten alle 40 untersuchten Mastschweine in der Heliumatmosphäre keine aversiven Reaktionen. Durch die Abfahrt des Betäubungskastens erzeugte Geräusche, führten bei einigen Tieren zu einem kurzen Moment erhöhter Aufmerksamkeit, im Anschluss setzten aber auch diese Schweine ihre natürlichen Verhaltensweisen im Tierkäfig fort. Diese äußerten sich häufig in einem Beschnüffeln der Tierkäfig-Bodenfläche. Bei allen Schweinen konnten schwankende Bewegungen unmittelbar vor dem Verlust des Stehvermögens beobachtet werden. Zum Teil verloren einige Tiere bereits die Kontrolle über ihre Hintergliedmaßen während der Kopfbereich noch aktiv den Boden untersuchte.

Anhand der beschriebenen Beobachtungen zu den Betäubungseigenschaften von Helium an Spanferkeln und Mastschweinen sowie den Literaturangaben zu Betäubungsstudien mit inerten Gasen, kann die Methode als tierschonend gewertet werden (Herin, Hall et al. 1978; EFAS 2004; Dalmau, Rodriguez et al. 2010). Bei einer Gasexpositionszeit unter 5-10 min muss von einer reversiblen Betäubung ausgegangen werden. Analog zu den Auswurf-Entblute-Intervall-Vorgaben in der Tierschutzschlacht-Verordnung für die Gasbetäubung mit CO₂ sollte auch für die Helium-Betäubung die Entblutung möglichst schnell durchgeführt werden.

Die Verhaltensweisen der Kontrolltiere zeigten deutliche Unterschiede zur Versuchstiergruppe. Die Auswertung der Videoanalyse hinsichtlich der Aversionsstärke ergab, dass 35 % der Tiere Symptome der Atemnot und 17,5 % zudem starke Aversionen in Form von Fluchtversuchen und Lautäußerungen zeigten. Die Ergebnisse sind vergleichbar mit Befunden von anderen Wissenschaftlern zum Verhalten von Mastschweinen während einer CO₂-Betäubung (Dodman 1977; Raj and Gregory 1996; Velarde, Cruz et al. 2007; Llonch, Dalmau et al. 2012). Die Tiere sind in der Betäubungseinleitungsphase erheblichen Belastungen ausgesetzt.

Tabelle 9: Ergebnis der Aversionsstärken Beurteilung

Aversionsstärke	0	1	2	3
Versuchstiere	40	-	-	-
Prozentual	100	-	-	-
Kontrolltiere	1	18	14	7
Prozentual	2,5	45	35	17,5

Ein Nebenbefund der Untersuchung war, dass die Betäubung von Einzeltieren in CO₂ zu einem geringeren Aversionsverhalten führte, als bei dem Zutrieb von mehreren Mastschweinen. Während der Vorbereitungen der HV wurde die Dip-Lift-Anlage im kommerziellen Betrieb mit drei Mastschweinen mehrfach beobachtet und das Tierverhalten zu Probezwecken gefilmt. Vermutlich durch das verminderte Raumangebot bei mehreren Mastschweinen, kam es während der Gaseinleitungsphase bei fast jeder Tiergruppe zu heftigen panikartigen Reaktionen der Stärke 3. Während der Einzeltierbetäubung zeigten unter 20 % der Tiere solch stark aversive Verhaltensweisen.

Die Ermittlung des Schallpegels während der CO₂-Betäubung ergab eine Grundlautstärke an der Dip-Lift-Anlage von 80,4 Dezibel (dB). Die Messungen wurden an einer einheitlichen Position an der Auswurfwanne der Anlage durchgeführt und das Messgerät PCE-322A (PCE, Meschede) über die Betongrube gehalten. Mit Hilfe der Speicherung der Daten (Uhrzeit und Lautstärke in dB, ein Messwert je Sekunden) konnten zusammen mit den Videoaufnahmen Lautäußerungen der Tiere eindeutig bestimmt werden. Gemessen wurde jeweils der Schallpegel während eines Betäubungszyklus. Wenn die Tiere Lautäußerungen bei Gasexposition zeigten, wurde am höchsten Punkt der Grube eine maximale Lautstärke von 105,8 dB erreicht (siehe Anhang: Abb. 20). Diese sehr lauten Schreie der Schweine lassen eine intensive psychische Belastung vermuten (Düpjan, Schön et al. 2008). Sie könnten sowohl Angst wie auch Schmerzen beinhalten (Schäffer 2005) und verdeutlichen die Aversivität der Tiere auf die CO₂ Atmosphäre.

Bezüglich der Erfassung bis zum Verlust des Stehvermögens der Tiere wurden folgende Werte ermittelt (Tab.10).

Sekunden bis zum Verlust des Stehvermögens	Min	Max	Mittelwert
Versuchstiere	5	32	20
Kontrolltiere	1	31	16

Bei den Versuchstieren wurde eine etwas längere Dauer bis zum Beginn der Bewusstlosigkeit festgestellt. Diese lag im Mittel bei 20 s und vier Sekunden höher als bei den Kontrolltieren. Dieser geringe Zeitunterschied hatte allerdings keine weiteren Auswirkungen, da alle mit Helium betäubten Tiere bis zum Einsetzen der Bewusstlosigkeit unbeeinflusst natürliche Verhaltensweisen zeigten.

Die Auswertung der Exzitationsstärke und Dauer (Tab.11) ergab geringfügig stärkere Muskelkontraktionen bei den Kontrolltieren mit Stärke 3 bei 7 und Stärke 2 bei 21 Tieren. Im Vergleich dazu zeigten die Versuchstiere eine Stärke 3 bei 6 und Stärke 2 bei nur 10 Schweinen. Allerdings dauerte die Phase der Exzitationen bei der Versuchstiergruppe mit im Mittel mit 20,3 s länger an als die der Kontrolltiere mit 15,5 s. Exzitationen während der Betäubung können aufgrund eines höheren Verbrauches von Adenosintriphosphat und Glykogen die Fleischqualität negativ beeinflussen. Auch beim Auftreten von Muskelblutungen werden heftige Muskelkontraktionen diskutiert (Llonch, Rodriguez et al. 2012). Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Helium Betäubung die Exzitationsphase der Tiere zwar geringfügig länger dafür in ihrer Ausprägung jedoch weniger stark war.

Tabelle 10: Ergebnisse der Exzitationsstärken Beurteilung

Exzitationsstärke	0	1	2	3	Dauer [s]
Versuchstiere	1	23	10	6	20,3
Prozentual	2,5	57,5	25	15	
Kontrolltiere	2	10	21	7	15,5
Prozentual	5	25	52,5	17,5	

Der Aufenthalt der Kontrolltiere in der Dip-Lift-Anlage beinhaltete die Abfahrt der Gondel (22 s) den Halt am tiefsten Punkt der Grube (83 s) und die Auffahrt (25 s) mit anschließendem Auswurf der Tiere in eine Auffangwanne. Der gesamte Zyklus dauerte jeweils 130 s. Der Aufenthalt in der Helium-Anlage beinhaltete das Absenken des Betäubungskastens (10 s), den Halt des Kastens auf dem Boden des Notschlachtraumes (im Mittel 160 s) und die Auffahrt des Kastens (10 s), Zyklusdauer 180 s. Das Auswurf-Entblute-Intervall der Kontrolltiere betrug 17,7 s und lag im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben (Tierschutzschlacht-Verordnung: 20 s nach Verlassen der Betäubungsanlage). Bei den Versuchstieren wurden nach einem Intervall von im Mittel 20,3 s der Entblutestich ausgeführt, da bei diesen Tieren zuvor die Reflexe überprüft wurden. Zudem wurde bei der Versuchstiergruppe während des Entblutens der Tiere im Liegen per Stethoskop die Herzaktivität überprüft. Alle Schweine hatten unmittelbar nach Setzen des Entblutestiches einen Herzschlag, dieser verringerte sich während der ersten Minute des Entblutens, wurde deutlich unregelmäßiger und war bei den Tieren nach weiteren 1-2 min nicht mehr wahrzunehmen.

Die bearbeiteten Stichblutproben wurden zur Analyse der Katecholamine mit einem neuen Verfahren, ein enzymgekoppelten Immunadsorptionstest (ELISA) der Firma Biotrend, verwendet. Bei der Analyse mit diesem neuen Testverfahren konnten die Extinktionswerte der Proben ermittelt werden, jedoch waren keine Angaben über die exakten Konzentrationen in nmol/l möglich. Die Konzentrationen von Adrenalin und Noradrenalin lagen höher als mit den Testverfahren unverdünnt bestimmbar. Durch den engen zeitlichen Rahmen des geförderten Forschungsvorhabens war keine weitere Bearbeitung möglich. Da jedoch weiteres Probenmaterial für die Analyse vorhanden ist, wird eine Bearbeitung dieser durch das MRI bis Ende 2012 stattfinden. Mit Hilfe einer Verdünnungsstufe sollte eine Bestimmung möglich sein. Die Ergebnisse der weiteren Testreihen werden der Tönnies Forschung mitgeteilt.

Die Ergebnisse der ermittelten Tierschutz-Parameter verdeutlichen, dass mit Helium eine tierschonende Betäubung möglich ist. Die Tiere wurden ohne Aversionen in einen Zustand der Bewusstlosigkeit versetzt.

Anders stellte sich die Situationen bei den Kontrolltieren dar. Fluchtversuche und laute Schreie während der ersten 15 s in der Gasatmosphäre zeigen eine Stressbelastung der Tiere durch das Betäubungsverfahren.

Diese Aussagen können bereits ohne die abschließende Auswertung der Katecholamine getroffen werden. Zwar geben diese einen Hinweis auf eine möglich höhere Belastung, jedoch findet auch beim hypoxischen Zustand nach mehreren Sekunden eine unwillkürliche Ausschüttung von Adrenalin und Noradrenalin ins Blut statt (Rostrup 1998). Die Katecholaminkonzentrationen im Stichblut spiegeln nicht nur den Stress wider, der unmittelbar bis zum Verlust des Bewusstseins von den Tieren empfunden wird und stellen daher lediglich eine ergänzende Untersuchung dar.

Die Phase bis zum Verlust des Stehvermögens, als auch die anschließenden Exzitationen, unterscheiden sich zwischen beiden Tiergruppen nur um wenige Sekunden. Für die Schlachttechnologie ergeben sich daher keine zeitlichen Verzögerungen durch das Helium-Verfahren. Die längere Dauer der Gasexpositionszeit der Versuchstiere um 50 s wurde gewählt, um bei der Versuchsreihe das Risiko, das Wiedererlangen des Bewusstseins, bei den Schweinen nahezu auszuschließen. Im kommerziellen Einsatz könnte durch Überprüfung der Betäubungszeiten theoretisch auch kürzere Expositionszeiten gewählt werden. Bei dem vorgehenden Zyklus von 180 s wurden die Tiere, in einem Auswurf-Entblute-Intervall von 17-24 s, bewusstlos durch Blutentzug getötet.

Aus Sicht des Tierschutzes stellt die Betäubung mit Helium ein tiergerechtes Verfahren dar. Allerdings ist für einen möglichen kommerziellen Einsatz auch die resultierende Schlachtkörper- und Fleischqualität ein entscheidendes Kriterium.

5.2. Schlachtkörper- und Fleischqualitätsparameter

Die statistische Auswertung der Parameter der Schlachtkörper- und Fleischqualität wird als arithmetischer Mittelwert (M), Standardabweichung (SD) und ermitteltes Signifikanzniveau (P) angegeben. Die graphische Darstellung sind sog. Box-Plots [Die Spannweite der Minimal- und Maximalwerte sind als rote waagrechte Linien, Extremwert als grüne Punkte, das untere und obere Quartil der Messwerte als gelbe Box und der Median als senkrechter rote Strich innerhalb der Box dargestellt.]

Alle Schlachtkörper wurden nach der Herrichtung und der amtlichen Prüfung mit einer Genusstauglichkeitskennzeichnung versehen. Bei der anschließenden Klassifizierung wurden die Daten in Tab. 12 ermittelt. Die geringen Unterschiede der Messwerte zwischen den Tiergruppen verdeutlichen die Homogenität des Tiermaterials (Tab. 12).

Tabelle 11: Klassifizierungsdaten

	Versuchstiere	Kontrolltiere
	$M \pm SD$	$M \pm SD$
Schlachtkörpergewicht (kg)	93,4 \pm 8,4	93,2 \pm 7,4
Speckmaß	13,5 \pm 3,4	14 \pm 3,2
Fleischmaß	64,2 \pm 6,5	64,4 \pm 6,3
Reflexionswert	46,8 \pm 7,6	47,8 \pm 9,1
Muskelfleischanteil (%)	60 \pm 3,3	59,6 \pm 3

Zur Erfassung der Fleischqualität sind nach Schwägele (1992) die Messung der Temperatur, des pH-Wertes, der elektrischen Leitfähigkeit, der Fleischhelligkeit sowie des Tropfsaftverlustes geeignete Verfahren. Einen großen Einfluss auf die Fleischbeschaffenheit haben neben der Genetik der Tiere oder der Fütterung, der Stress bzw. die Belastung unmittelbar vor der Schlachtung (Gade 1997; Brown, Warriss et al. 1998; van der Wal, Reimert et al. 2000; Hambrecht, Eissen et al. 2004).

Als endokrine Reaktion auf vermehrten Stress werden Hormone sezerniert, die Enzymreaktionen katalysieren und Stoffwechselforgänge aktivieren. Es resultierten eine Beschleunigung der Glykolyse und eine Stimulation der Lipolyse. Die Folgen sind eine Erhöhung von intramuskulärem

Laktat und eine erhöhte Körpertemperatur des Tieres zum Zeitpunkt der Schlachtung. Diese beeinflussen die biochemischen Prozesse der Fleischbildung, wichtige Aspekte der Fleischbeschaffenheit können mit den durchgeführten Methoden erfasst werden.

Als Richtwerte für die Beurteilung von Schweinefleisch wird meist nicht der Normbereich sondern dessen Abweichungen angegeben. Als wichtigste Qualitätsabweichungen sind beim Schwein PSE- und DFD-Fleisch zu nennen (Garrido, Pedauy et al. 1994). Bei DFD-Fleisch (dark, firm, dry = dunkel, fest, trocken) sind die Energiereserven der Tiere bereits lange vor dem Zeitpunkt der Schlachtung auf einem niedrigen Niveau, so dass es nur zu einer ungenügenden postmortalen Glykolyse kommen kann. Bei PSE-Fleisch (pale, soft, exsudativ = hell, weich, wässrig) führen Belastungen in Form von Stress unmittelbar vor der Schlachtung bei genetisch prädispositionierten Schweinen zu einer massiv beschleunigten Glykolyse. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Stress-empfindlichen Schweinen, da die genetische Disposition für das Krankheitsbild der Belastungsmiopathie bekannt ist. Aber auch bei Tieren ohne Gendefekt können Abweichung mit PSE-Charakter bei erhöhtem prä-mortalem Stress auftreten (Čandek-Potokar, Žlender et al. 1998).

5.2.1. Muskelkerntemperatur, pH_1 und pH_{ULT}

Untersucht wurden jeweils die Muskelgruppen SM und LD 45 min p.m. und nach 24 h. Die Messung der Kerntemperatur des SM auch als Schinkentemperatur bezeichnet ergab signifikant höhere Temperaturen der Kontrolltiergruppe (Abb. 10). Wie die Darstellung der Box-Plots zeigt ist zum einen die Spannweite der Kontrolltiere deutlich größer, zum anderen hatte in diese Gruppe eine Tierkörperhälfte eine maximale Temperatur von 42,1 °C, in der Darstellung als Extremwert angegeben. Auch die im LD ermittelte Temperatur 45 min nach der Schlachtung lag bei den CO₂ betäubten Tieren mit Mittel bei 38,2 °C (Abb. 11) und signifikant höher als bei den Versuchstieren (37,4 °C). Ursache einer höheren Muskeltemperatur der Kontrolltiere ist eine höhere Stoffwechselaktivität (D'Souza, Dunshea et al. 1998). Auslöser kann eine größere Belastung des Tierkörpers unmittelbar vor der Schlachtung sein.

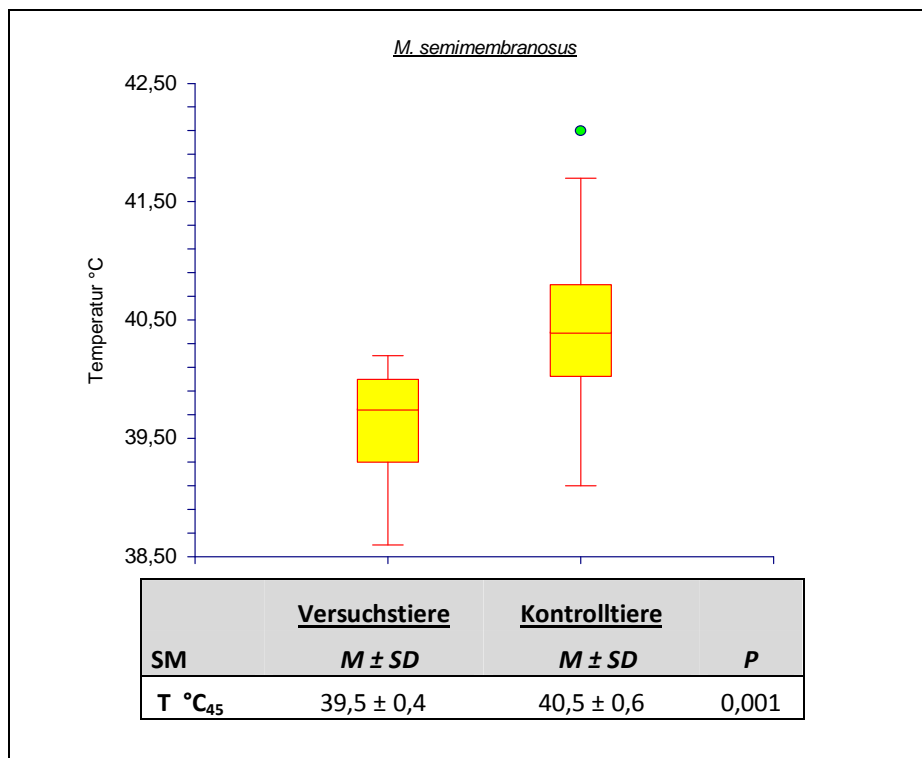


Abbildung 10: Temperatur 45 min p.m. SM

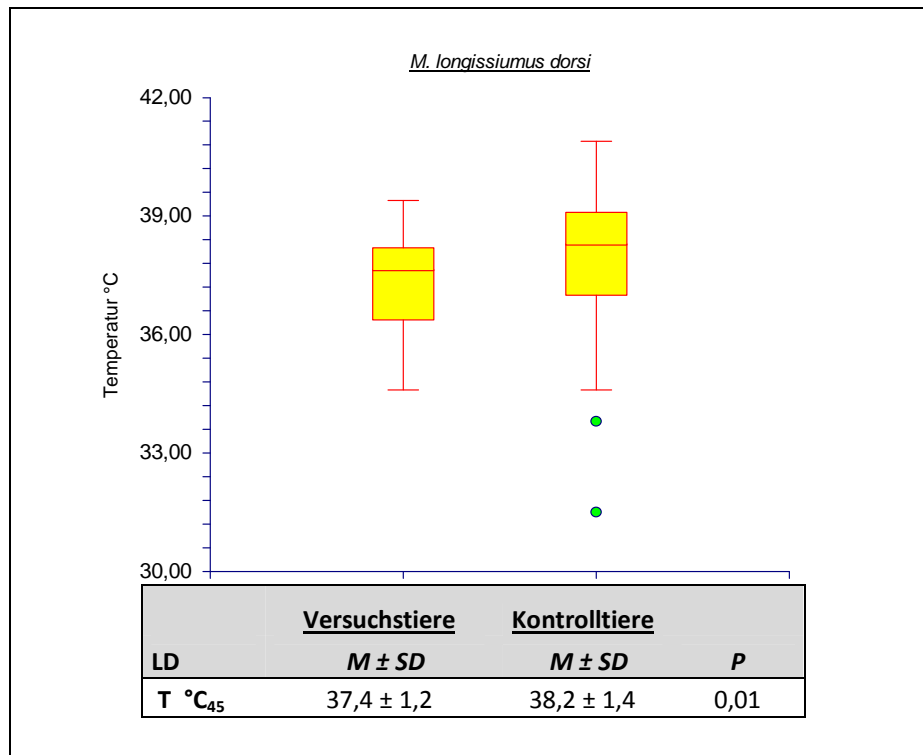


Abbildung 11: Temperatur 45 min p.m. LD

Auch die Ermittlung der Muskelkerntemperaturen nach 24 h Kühlung der Schlachttierkörperhälften bei 2 °C ergab signifikante Unterschiede der Tiergruppen. So wurde im SM der Versuchstiergruppe im Mittel eine Temperatur von 6,6 °C ± 0,6 und der Kontrolltiergruppe von 7,4 °C ± 0,9 gemessen, es wurde ein Signifikanzwert von $P < 0,001$ errechnet. Im Muskel LD wurde eine Temperatur von 3,8 °C ± 0,5 und bei der Kontrolltiergruppe 4,2 °C ± 0,5 mit $P = 0,001$ ermittelt. Dieses Ergebnis könnte auf die höhere Anfangstemperatur des Schlachttierkörpers zurückzuführen sein.

In Abbildung 12 sind die Ergebnisse der pH-Wert-Messungen des SM 45 min p.m dargestellt. Die Messwerte des pH_1 ergaben hoch signifikant niedrigere Werte bei der Kontrolltiergruppe.

Keine signifikanten Unterschiede wurden hingegen bei den weiten pH-Wert Messungen festgestellt. Für den pH_1 des LD wurden bei den Versuchstieren im Mittel 6,3 ± 0,2 und bei der Kontrolltiergruppe 6,4 ± 0,3 ermittelt. Die Messung des pH_{ult} 24 h p.m ergab im SM der Versuchstiere 5,5 ± 0,2 und 5,6 ± 0,2 bei den Kontrolltieren sowie im LD 5,4 ± 0,1 und 5,5 ± 0,1.

Ein niedrigerer pH-Wert 45 min nach der Schlachtung deutet auf eine höhere Glykolyse-Rate und eine höhere Stressbelastung bei den Kontrolltieren hin (Hambrecht, Eissen et al. 2004). Nach dem Lastenheft der CMA (1998) gilt als Grenzwert für eine verminderte Fleischqualität in Form von PSE 45 min p.m. $< 6,0$. Mit Hilfe des pH_{ult} lässt sich eine Aussage über die Qualitätsabweichung von DFD-Fleisch treffen, wenn dieser $> 6,0$ liegt (Lindahl, Henckel et al. 2006). Die Messwerte beider Tiergruppen zeigten keine Qualitätsabweichungen.

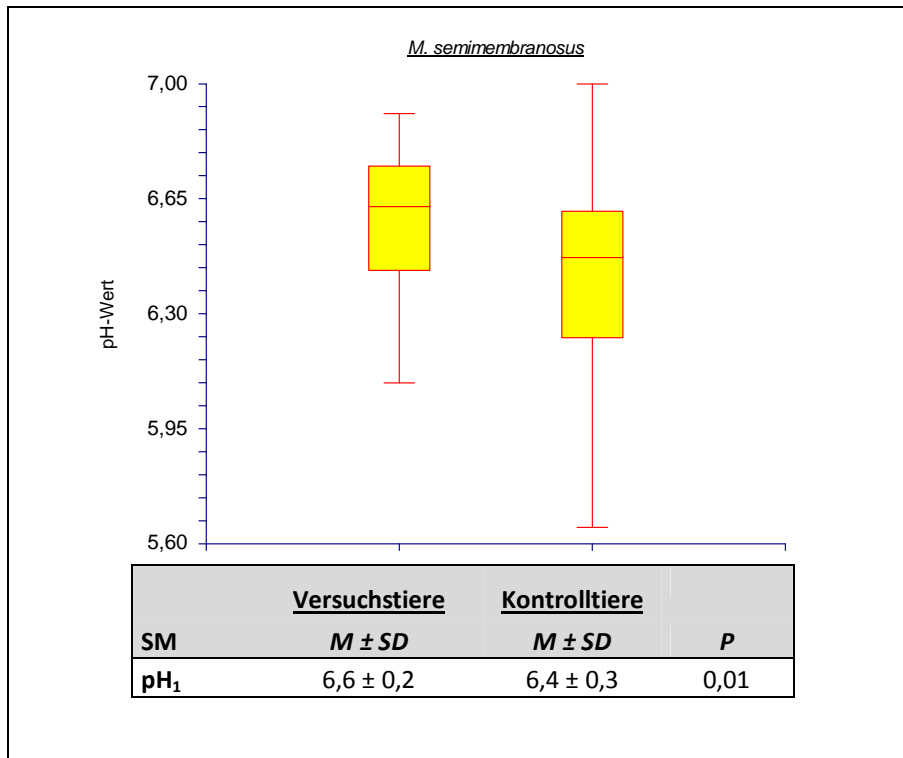


Abbildung 12: Vergleich der pH-Werte 45 min p.m SM

5.2.2. Leitfähigkeitsmessung

Die Messung der Leitfähigkeit beider Muskelgruppen zeigte keine signifikanten Unterschiede. Im SM wurden für die Versuchstiere ein Mittelwert von 3,5 mS/cm ± 1,2 und für die Kontrolltiere 4,0 mS/cm ± 2,0 ermittelt. Im Bereich des LD ergab die Messung der Versuchstierschlachtkörper 5,1 mS/cm ± 2,4 und die der Kontrolltiere im Mittel 4,6 mS/cm ± 2,2. Als Richtwerte für eine verminderte Fleischqualität in Form von PSE findet man in der Literatur die Angaben von > 8 mS/cm im LD (Wendt, Bickhardt et al. 2000) und > 6 mS/cm im SM (Weissmann 1999). Erst ab diesen Richtwerten wird eine erhöht Durchlässigkeit der Zellmembranen bedingt durch postmortale Schäden vermutet. Dies war bei den untersuchten Gruppen nicht der Fall.

5.2.3. Fleischfarbe

Zur Bestimmung der Fleischfarbe-Werte (L^* , a^* , b^*) wurden drei verschiedene Messungen durchgeführt. Ergebnisse der ersten Messung an der Schlachttierkörperhälfte im Bereich des SM ergaben einen L^* -Wert von $49,0 \pm 3,1$, (Versuchstiergruppe) und $48,1 \pm 3,0$ (Kontrolltiere). Signifikante Unterschiede stellten sich bei den a^* - und b^* -Werte heraus. Beim a^* -Wert wurden $9,8 \pm 1,7$ bei den Versuchstieren und $9,1 \pm 1,5$ bei den Kontrolltieren ermittelt ($P < 0,001$), für den b^* -Wert $5,4 \pm 1,2$ und $4,5 \pm 1,4$ ($P < 0,01$). Die zweite Messung am LD ergab keine signifikanten Unterschiede (NS) (s. Tab. 13).

Tabelle 12: Ergebnis der Farbmessung LD

	<u>Versuchstiere</u>	<u>Kontrolltiere</u>	
LD	<i>M ± SD</i>	<i>M ± SD</i>	<i>P</i>
L*	50,3 ± 2,8	50,4 ± 3,4	N.S
a*	8,4 ± 1,3	8,1 ± 1,3	N.S
b*	4,4 ± 0,9	4,0 ± 1,4	N.S

Die dritte Messung wurde an SM nach der Zerlegung durchgeführt (Abb.13-15). Hoch signifikant niedrigere L*-Werte wurden für die Versuchstiergruppe ermittelt. Die Fleischscheiben der Kontrolltiere stellten sich optisch geringfügig heller dar. Auch der a*-Wert, der Rotanteil der Versuchstiere lag mit $13,0 \pm 2,0$ zu $11,4 \pm 1,6$ höchst signifikant höher. Bezüglich des b*-Wertes, zeigten sich ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Versuchstieren mit $5,7 \pm 1,1$ zu $5,1 \pm 1,1$.

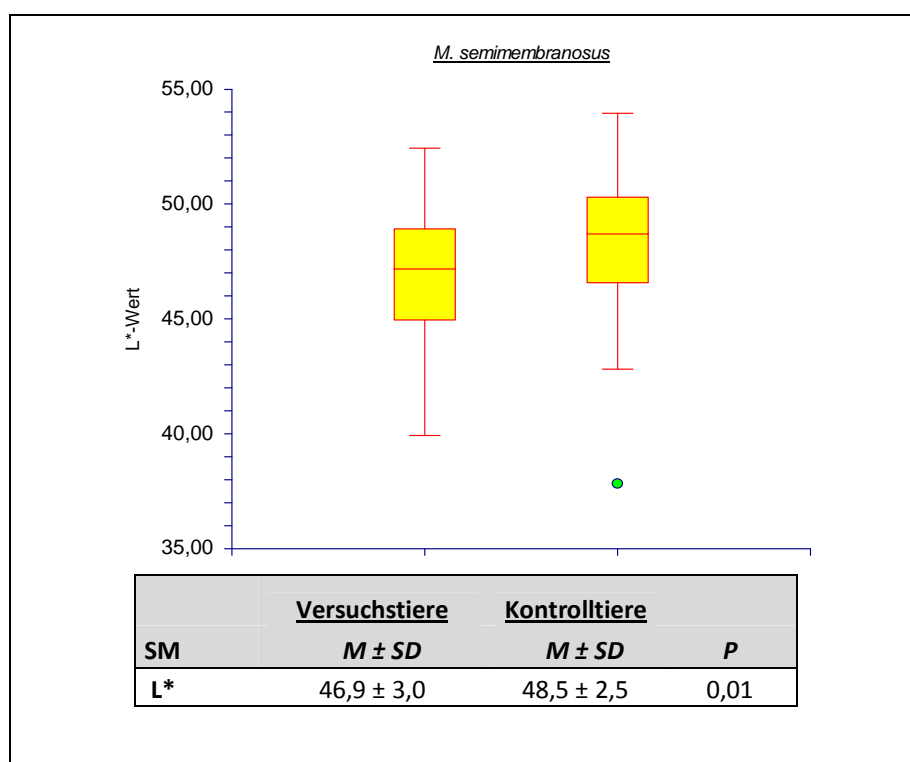


Abbildung 13: Vergleich des L*-Wertes SM 48 h p.m.

Als Richtwerte für eine Veränderung in Form von PSE werden ein L*-Wert >52 (Wenzlawowicz 1996) und ein b*-Wert von >7 angegeben (Oster 1990). Für den a*-Wert sind keine PSE-Richtwerte vorgegeben. In einer Studie von Feldhusen (1987) wurden trotz einer mangelnden Fleischbeschaffenheit mit einem Minolta-Messgerät hohe a*-Werte gemessen. Es wird vermutet, dass dies mit einem erhöhten Austritt von Myoglobin in den extrazellulär Raum des Muskels zusammenhängt, der vom menschlichen Auge nicht als Zunahme des Rotwertes wahrgenommen wird.

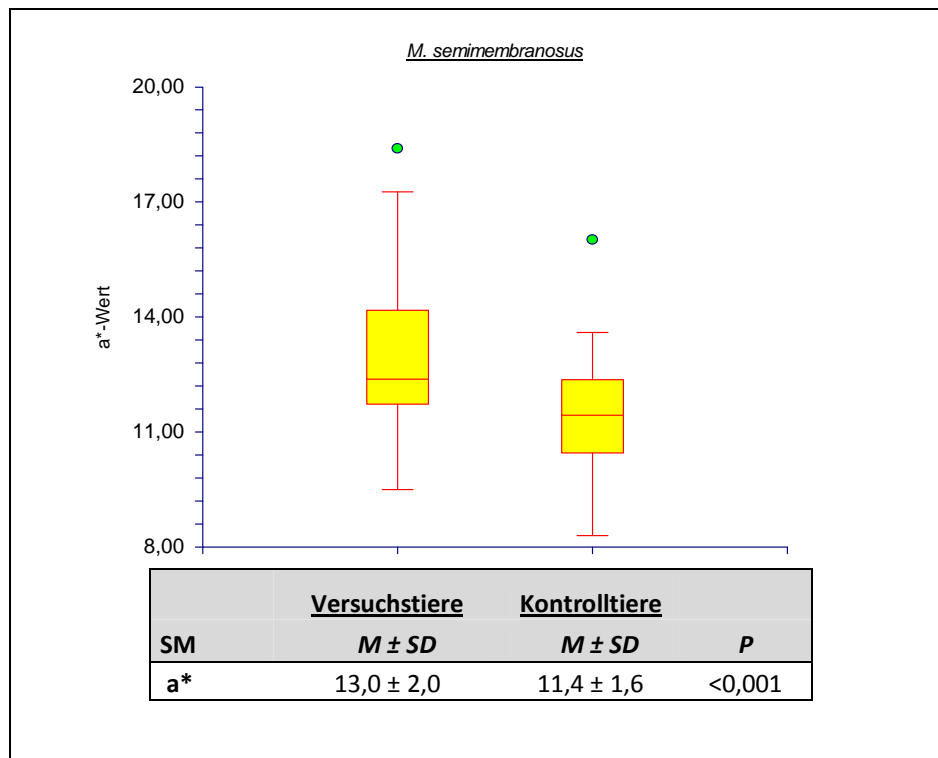


Abbildung 14: Vergleich des a*-Wertes SM 48 h p.m.

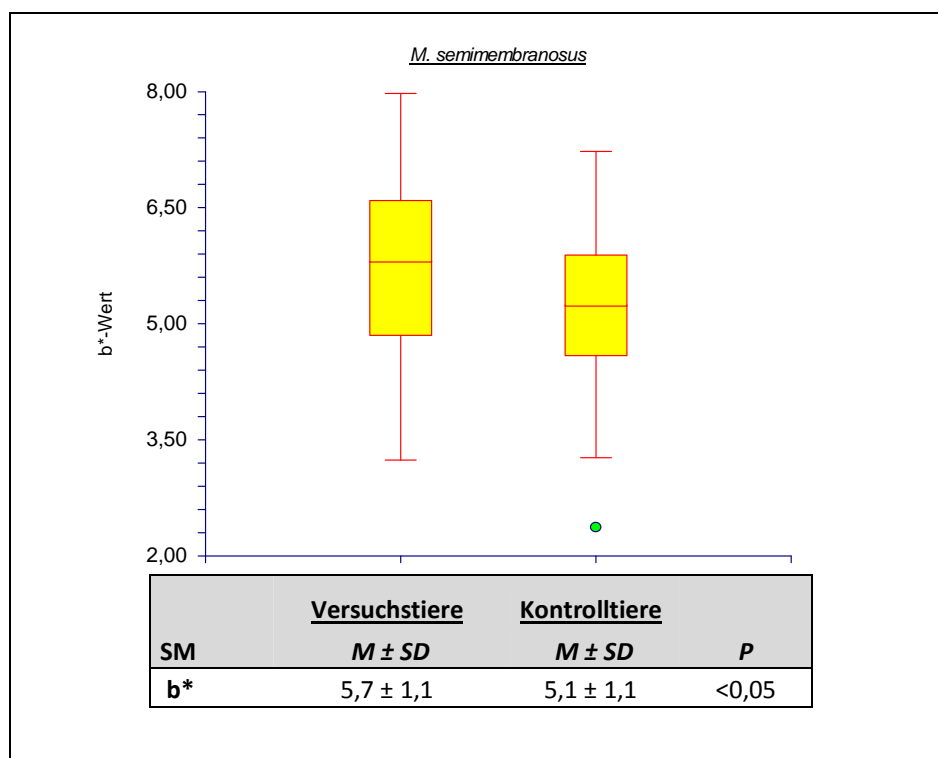


Abbildung 15: Vergleich des b*-Wertes SM 48 h p.m

Einzelne Messwerte der Proben von einigen Untersuchungstiere lagen im Bereich von PSE-verändertem Fleisch, jedoch ist für die eindeutige Charakterisierung eine Betrachtung mehrere Parameter nötig (Mussmann 1994). Nach Überprüfung verschiedener Messwerte je Untersuchungstier wurde bei keinem Schwein PSE festgestellt.

Allerdings sprechen die Ergebnisse der helleren Proben der Kontrolltiere, nach 48 h Lagerung, für einen geringfügig höheren Austritt von Flüssigkeit aus den Muskelzellen, der auf einer frühen postmortalen Glykolyse, bedingt durch eine prämortale Belastung, beruhen könnte.

5.2.4. Bestimmung von Schlachtkörperschäden

Bei der Zerlegung der Schlachttierkörperhälften konnte lediglich bei einem Schwein der Kontrolltiergruppe mehrere Stecknadelkopf Große petechiale Blutungen im Teilstück Lachs gefunden werden (Abb. 16). Zwar ist im Rahmen der kommerziellen Schlachtung das Auftreten von Blutpunkten bei der CO₂-Betäubung ein seltenes Bild, aber die zum Teil heftigen Exzitationen der Tiere werden als Ursache vermutet. Bei dem Helium betäubten Tieren traten keine Blutpunkte auf.



Abbildung 16: Blutpunkte bei einem Kontrolltier

Bei dem Aufschneiden der Oberschale in definierte Scheiben (Schnitzel, 48 h p.m), konnten ebenfalls keine Muskelblutungen gefunden werden. Die einzelnen Scheiben wurden zur Dokumentation fotografiert, es wurde optisch keine Farbabweichungen festgestellt (Abb.17). Anders als bei anderen Betäubungsversuchen mit inerten Gasen wie Argon oder Stickstoff zeigt Helium keine Beeinflussung der Schlachtkörperqualität.

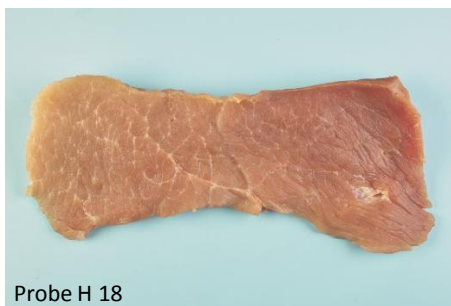


Abbildung 17: Aufgeschnittene Oberschale 48 h p.m

5.2.5. Tropfsaftbestimmung

Die Tropfsaftbestimmung am LD ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Betäubungsarten. Für die Versuchstiergruppe wurden im Mittel $2,3\% \pm 1,1$ und bei der Kontrolltiergruppe ein nur geringfügig höherer Mittelwert von $2,5\% \pm 1,3$ errechnet. Für die Einordnung von PSE-Fleisch wird ein Tropfsaftverlust Grenzwert von $> 5\%$ angegeben (Warner, Kauffman et al. 1997), die Untersuchten Proben lagen unterhalb dieser Grenze.

5.2.6. Sensorik und Grillverlust

Das Ergebnis der Sensorik der Fleischscheiben von LD und SM sind in den Abbildung 18 und 19 dargestellt. Die sechs Prüfer vergaben jeweils eine Note von 1-6 von für die Kriterien Aroma, Zartheit und Saftigkeit. Aus den sechs Noten wurde der Median als Note pro Probe vergeben. Die Verteilung ist in einem Balken-Diagramm visualisiert. Die statistische Auswertung hat keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tiergruppen ergeben. Die mit Helium betäubten Tiere zeigten geschmacklich keine Abweichung zu den kommerziell geschlachteten Schweinen. Bei der Beurteilung des Aromas des SM wurden einerseits drei Proben der Versuchstiere eine Note schlechter bewertet als die Kontrolltiere. Bei der Bewertung des Aromas von LD wurden andererseits drei Versuchstiere um eine Note besser bewertet als die Kontrolltiere.

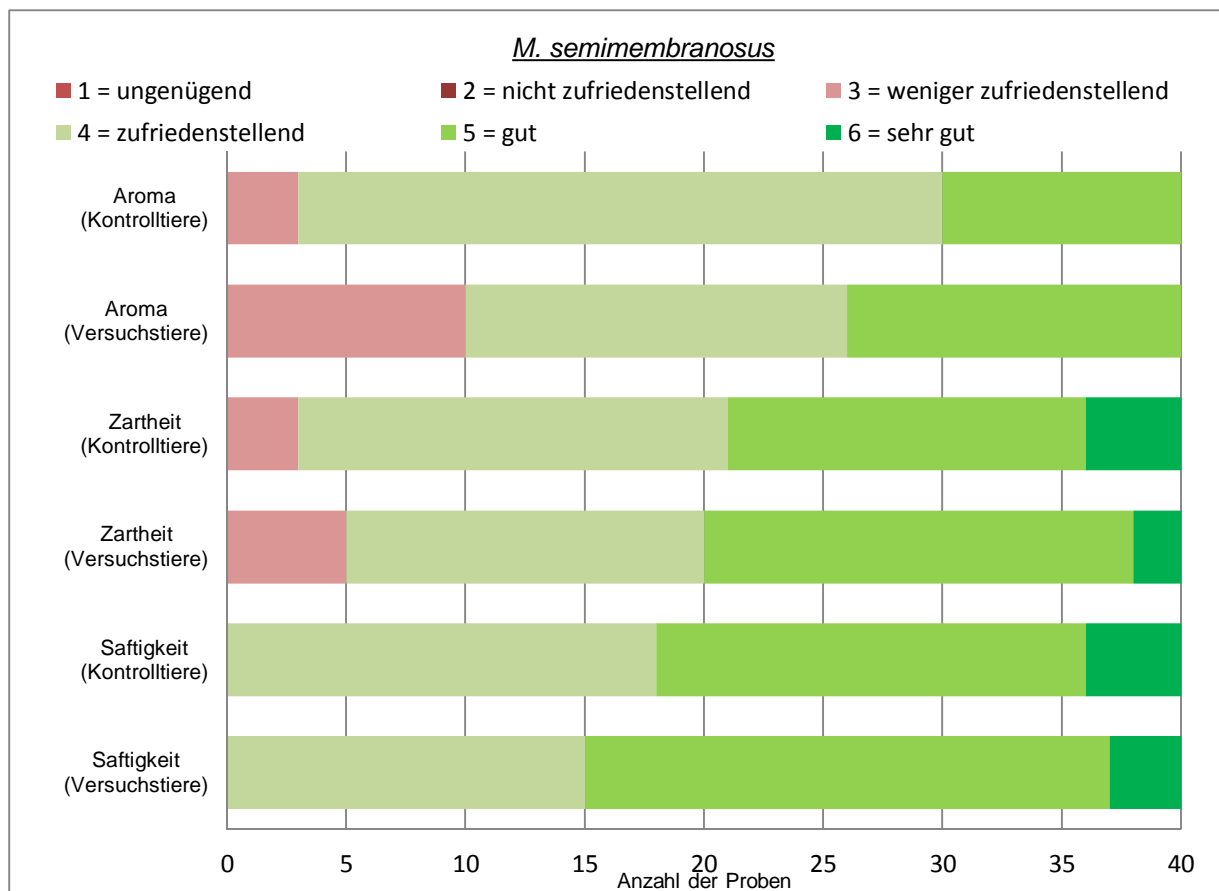


Abbildung 18: Auswertung der Sensorik SM

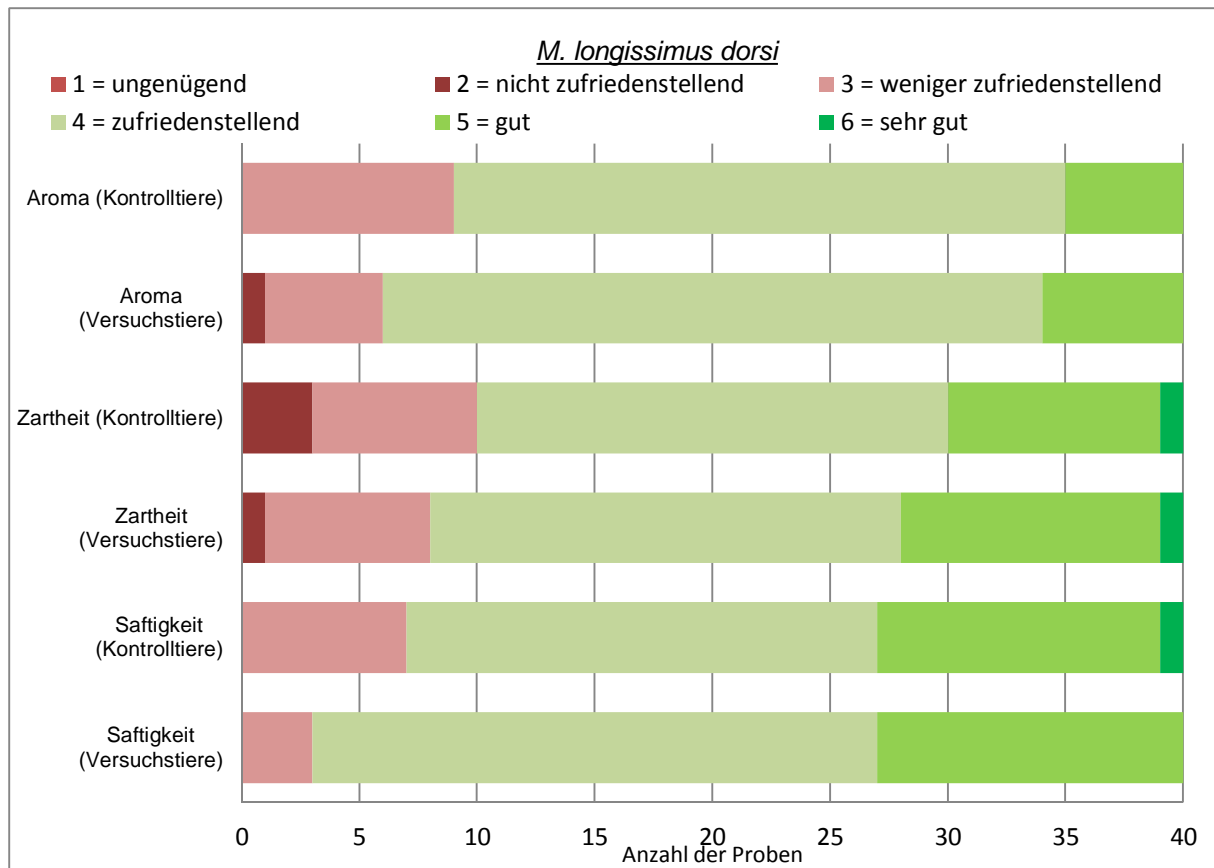


Abbildung 19: Auswertung der Sensorik LD

Insgesamt ergab die sensorische Bewertung eine homogene Verteilung. Für die Akzeptanz beim Verbraucher spielen sensorische Kriterien eine große Rolle (Ristic 2009), diese wären durch den Einsatz von Helium als Betäubungsgas nicht beeinflusst.

Der ermittelte Grillverlust ergab bei den Proben des SM einen Verlust von $25,5\% \pm 4,2$ bei den Versuchstieren und $25,9\% \pm 4,0$ bei den Kontrolltieren. Bezüglich des LD wurden $27,0\% \pm 3,4$ und $27,0\% \pm 4,2$ erfasst. Die Messwerte zeigen eine sehr geringe Differenz, es wurden auch hier keine signifikanten Unterschiede errechnet. Angaben zur Höhe des Grillverlust findet man bei Lengerken (2007). Für konventionell gefütterte Mastschweine wird für den Muskel LD ein Verlust im Normbereich ein Mittelwert von $27,1\%$ angegeben. Insgesamt waren keine Unterschiede zwischen beiden Gasbetäubungsvarianten auf die sensorische Qualität oder den Grillprozess festzustellen.

6. Schlussfolgerungen

Nach Abschluss der Untersuchungen im Juli 2012 und der statistischen Auswertung der Daten bis September 2012, sind die folgenden Schlussfolgerungen möglich.

- In nach unten geöffneten Behältnissen sind konstante Konzentrationen von Helium >90 % auch ohne technisch aufwändige Konstruktionen möglich.
- Schweine verlieren in einer Heliumatmosphäre von >90 % im Mittel nach 20 s ohne Anzeichen von Aversion ihr Bewusstsein. Die in der Versuchsreihe gewählte Heliumexpositionszeit von 180 s war ausreichend, um Mastschwein zu betäuben und die Tiere in einem bis zum Tod durch Blutentzug (Auswurf-Entblute-Intervall 15-30 s) anhaltenden Zustand der Wahrnehmung - und Empfindungslosigkeit zu versetzen.
- Die Betäubungsmethode kann als tierschonend gewertet werden.
- Die Einzel-Betäubung von Mastschweine in einer kommerziell betriebenen CO₂-Dip-Lift-Anlage, führte bei 35 % der Tiere zu Symptome der Atemnot und bei 17,5 % zusätzlich zu starken Aversionen in Form von Fluchtversuchen und Lautäußerungen. Aus Sicht des Tierschutzes verdeutlichen diese Beobachtungen, dass der Einsatz von CO₂ für Mastschweine kritisch zu beurteilen ist.
- Ein Nebenbefund der Untersuchung stellt die Tatsache dar, dass bei Betäubungszyklen mit 3 Mastschweinen je Betäubungsgondel, die Tiere deutlich häufiger stark aversive Reaktionen zeigten. Es ist daher auch die gegenwärtige Praxis in Frage zu stellen, ob Betäubungsanlagen mit bis zu acht Mastschweinen, das Tierwohl, trotz des gruppenweisen Zutrieb, während der Gaseinleitungsphase nicht zusätzlich negativ beeinflussen. Zukünftige Untersuchungen über das benötigte Raumangebot der Tiere in einer Gondel könnten dieser Frage nachgehen.
- Die Schlachtkörperqualitätsmängel in Form von Blutpunkten traten bei Helium betäubten Mastschweinen nicht auf. Auch die Schlachtkörper- und Fleischqualität war vergleichbar und in Teilaspekten geringfügig besser als die nach einer CO₂ Betäubung.
- Für eine gesetzlich geregelte schrittweise Einstellung des Einsatzes von CO₂ zur Betäubung von Mastschweinen fehlten bislang ökonomisch vertretbare Alternativen. Nach Abschluss des Forschungsvorhabens stellt die Helium Betäubung eine tierschonende Methode ohne nachteilige Beeinflussung der Fleischqualität dar, weitere ökonomische Aspekte gilt es zu prüfen.
- Nach Abschluss der Untersuchungen des Friedrich-Löffler-Institut, kann die Betäubung mit Helium auch im Hinblick auf physiologischen Parametern beurteilt werden. Ziel zukünftiger Forschung sollte es sein, nach Abschluss und Auswertung des Projektes gegebenenfalls weitere Untersuchungen mit einer Helium-Betäubungsanlage im industriellen Maßstab durchzuführen. Ein gruppenweiser Zutrieb und die gleichzeitige Betäubung von mehreren Mastschweinen könnten den Tierschutz noch zusätzlich verbessern.

7. Literaturverzeichnis

- Anton, F., I. Euchner, et al. (1992). "Psychophysical examination of pain induced by defined CO₂ pulses applied to the nasal mucosa." *Pain* 49(1): 53-60.
- Bailey, J. E. and D. J. Nutt (2008). "GABA-A receptors and the response to CO₂ inhalation - A translational trans-species model of anxiety?" *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 90(1): 51-57.
- Björkman, S. T., S. M. Miller, et al. (2010). "Seizures are associated with brain injury severity in a neonatal model of hypoxia-ischemia." *Neuroscience* 166(1): 157-167.
- Branscheid, W., K. O. Honikel, et al. (2005). *Qualität von Fleisch und Fleischwaren*, Deutscher Fachverlag.
- Brown, S. N., P. D. Warriss, et al. (1998). "Meat quality in pigs subjected to minimal preslaughter stress." *Meat Science* 49(3): 257-265.
- Čandek-Potokar, M., B. Žlender, et al. (1998). "Effects of age and/or weight at slaughter on longissimus dorsi muscle: Biochemical traits and sensory quality in pigs." *Meat Science* 48(3-4): 287-300.
- Channon, H. A., A. M. Payne, et al. (2002). "Comparison of CO₂ stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality." *Meat Science* 60(1): 63-68.
- D'Souza, D. N., F. R. Dunshea, et al. (1998). "The Effect Of Handling Pre-Slaughter And Carcass Processing Rate Post-Slaughter On Pork Quality." *Meat Science* 50(4): 429-437.
- Dalmau, A., P. Llonch, et al. (2010). "Stunning pigs with different gas mixtures: gas stability." *Animal Welfare* 19(3): 315-323.
- Dalmau, A., P. Rodriguez, et al. (2010). "Stunning pigs with different gas mixtures: aversion in pigs." *Animal Welfare* 19(3): 325-333.
- Dodman, N. H. (1977). "OBSERVATIONS ON USE OF WERNBERG DIP-LIFT CARBON-DIOXIDE APPARATUS FOR PRE-SLAUGHTER ANESTHESIA OF PIGS." *British Veterinary Journal* 133(1): 71-80.
- Düpjan, S., P. C. Schön, et al. (2008). "Differential vocal responses to physical and mental stressors in domestic pigs (*Sus scrofa*)." *Applied Animal Behaviour Science* 114(1-2): 105-115.
- EFAS (2004). ""Welfare aspects of animal stunning and killing method". Scientific report of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of animal stunning and killing methods." AHAW/04-027, European Food Safety Authority.
- Eisele, J. H., E. I. Eger, et al. (1967). "NARCOTIC PROPERTIES OF CARBON DIOXIDE IN DOG." *Anesthesiology* 28(5): 856-&.
- Feldhusen, F., Neumann-Fuhrmann, D., Haeger, O., Wenzel, S. (1987). "Farbmessungen im Rahmen der Fleischqualitätsprüfung mit dem Minolta Chromameter." *Züchtungskunde* 146-157.

- Gade, P. B. (1997). The effect of pre-slaughter handling on meat quality in pigs, Australasian Pig Science Association.
- Garrido, M. D., J. Pedauy , et al. (1994). "Objective assessment of pork quality." *Meat Science* 37(3): 411-420.
- Grassberger, M. and A. Krauskopf (2007). "Suicidal asphyxiation with helium: Report of three cases." *Wiener Klinische Wochenschrift* 119(9): 323-325.
- Hambrecht, E., J. J. Eissen, et al. (2004). "Preslaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants." *Journal of Animal Science* 82(5): 1401-1409.
- Hapke, H. (1962). "Schnappatmung («gasping») als Folge einesverst rkten atemhemmenden Vagusreflexes." *Cellular and Molecular Life Sciences* 18(2): 98-98.
- Herin, R. A., P. Hall, et al. (1978). "NITROGEN INHALATION AS A METHOD OF EUTHANASIA IN DOGS." *American Journal of Veterinary Research* 39(6): 989-991.
- Honikel, K. O., Honikel (1998). "Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat." *Meat Science* 49(4): 447-457.
- Koohmaraie, M., M. P. Kent, et al. (2002). "Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship?" *Meat Science* 62(3): 345-352.
- Lengerken, G. v., Wicke, M., Fischer, K. (2007). "Schlacht tierwert des Schweines." In: *Qualit t von Fleisch und Fleischwaren Band 1*: 207-245.
- Lindahl, G., P. Henckel, et al. (2006). "Significance of early postmortem temperature and pH decline on colour characteristics of pork loin from different crossbreeds." *Meat Science* 72(4): 613-623.
- Llonch, P., A. Dalmau, et al. (2012). "Aversion to nitrogen and carbon dioxide mixtures for stunning pigs." *Animal Welfare* 21(1): 33-39.
- Llonch, P., P. Rodriguez, et al. (2012). "Stunning pigs with nitrogen and carbon dioxide mixtures: effects on animal welfare and meat quality." *Animal* 6(4): 668-675.
- Lomholt, N. (1983). "CO2 NARCOSIS OF SLAUGHTER ANIMALS, STATEMENTS AND REALITIES." *Deutsche Tierarztliche Wochenschrift* 90(2): 66-68.
- Machold, U., K. Troeger, et al. (2003). "Gas stunning of pigs - A comparison of carbon dioxide, argon, a nitrogen-argon-mixture and argon/carbon dioxide, (2 steps-system) under animal welfare aspects." *Fleischwirtschaft* 83(10): 109-114.
- Martoft, L., L. Lomholt, et al. (2002). "Effects of CO2 anaesthesia on central nervous system activity in swine." *Laboratory Animals* 36(2): 115-126.
- Mussmann, T., Schmitt, F., J ngst, H., Tholen, E. Scherpers, K.-H. (1994). "Vergleichende Untersuchungen zur methodik der Helligkeits- und Farbmessungen bei Schweinefleisch." *Z chtungskunde* 66(5): 359-372.

- Nowak, B., T. V. Mueffling, et al. (2007). "Effect of different carbon dioxide concentrations and exposure times in stunning of slaughter pigs: Impact on animal welfare and meat quality." *Meat Science* 75(2): 290-298.
- Oster, A., Fewson, D. (1990). "Untersuchungen über die Messung der Fleischfabre von Schweinen mit dem Chromameter der Firma Minolta." *Züchtungskunde* 60(2): 141-159.
- Passantino, A. (2009). "Welfare of animals at slaughter and killing: a new regulation on the protection of animals at the time of killing." *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 4(3): 273-285.
- Raj, A. B. M. (1999). "Behaviour of pigs exposed to mixtures of gases and the time required to stun and kill them: welfare implications." *Veterinary Record* 144(7): 165-168.
- Raj, A. B. M. and N. G. Gregory (1990). "EFFECT OF RATE OF INDUCTION OF CARBON-DIOXIDE ANESTHESIA ON THE TIME OF ONSET OF UNCONSCIOUSNESS AND CONVULSIONS." *Research in Veterinary Science* 49(3): 360-363.
- Raj, A. B. M. and N. G. Gregory (1995). "Welfare implications of the gas stunning of pigs. 1. Determination of aversion to the initial inhalation of carbon dioxide or argon." *Animal Welfare* 4(4): 273-280.
- Raj, A. B. M. and N. G. Gregory (1996). "Welfare implications of the gas stunning of pigs 2. Stress of induction of anaesthesia." *Animal Welfare* 5(1): 71-78.
- Ring, C., W. Erhardt, et al. (1988). "CO₂ ANESTHESIA FOR SLAUGHTER PIGS." *Fleischwirtschaft* 68(11): 1478-1484.
- Ristic, M. (2009). "Die Bedeutung der Sensorik als Kriterium der Fleischqualität- Ein Vergleich zwischen verschiedenen Fleischarten und Erzeugnissen." *Tehnologija mesa* 50(1-2): 148-158.
- Rosochacki, S. J., A. B. Piekarczywska, et al. (2000). "The influence of restraint immobilization stress on the concentration of bioamines and cortisol in plasma of Pietrain and Duroc pigs." *Journal of Veterinary Medicine Series a-Physiology Pathology Clinical Medicine* 47(4): 231-242.
- Rostrup, M. (1998). "Catecholamines, hypoxia and high altitude." *Acta Physiologica Scandinavica* 162(3): 389-399.
- Schäffer, D. v. B., E. (2005). "Vokalisation von Schlachtschweinen. Ein Indikator für die Bewertung der Tiergerechtheit des Handlings an Betäubungsanlagen." *Fleischwirtschaft* 9: 37- 44.
- Schwägele, F. (1992). "Erfassung von Qualitätsmerkmalen nach dem Schlachten " In: *Qualitätssicherung im Fleischbereich, Kulmbacher Reihe, Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach* 11: 48-72.
- Troeger K, M. U., Moje M. et al. (2003). "Betäubung von Schweinen mit Kohlendioxid, Argon, Stickstoff-Argon-Gemisch oder Argon/Kohlendioxid (2-stufig) – Schlachtkörper- und Fleischqualität." *Proc. 2. Schlachttechnologie-Workshop am 8. Mai 2003 in der BAFF Kulmbach*(S. 27 bis 40).
- van der Wal, P. G., H. G. M. Reimert, et al. (2000). "The effect of stress, experienced just before stunning, on pork quality." *Fleischwirtschaft* 80(3): 91-93.

- Velarde, A., J. Cruz, et al. (2007). "Aversion to carbon dioxide stunning in pigs: effect of carbon dioxide concentration and halothane genotype." *Animal Welfare* 16(4): 513-522.
- Velarde, A., M. Gispert, et al. (2000). "The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses." *Meat Science* 55(3): 309-314.
- Warner, R. D., R. G. Kauffman, et al. (1997). "Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits." *Meat Science* 45(3): 339-352.
- Weissmann, F., Honikel, K. O. (1999). "Zur Frage einer Referenzmethode zum Ausschluß von PSE-Fleisch in der Wareneingangskontrolle." *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung* 37: 300-303.
- Wendt, M., K. Bickhardt, et al. (2000). "Porcine stress syndrome and PSE meat: clinical symptoms, pathogenesis, aetiology and aspects of animal welfare." *Berliner Und Munchener Tierärztliche Wochenschrift* 113(5): 173-190.
- Wenzlawowicz, M. v., Holleben K.v., Mickwitz, G. (1996). "Fleischqualität bei Schwein-Vergleichende Untersuchungen unter Berücksichtigung von Vorbelastungen, Schlachtgewicht und Magerfleischanteil." *Fleischwirtschaft* 76(3): 301-307.
- Yang, T. S., Z. J. Hawrysh, et al. (1984). "Identification of PSE in the Longissimus muscle of pigs stunned by captive-bolt." *Meat Science* 10(4): 243-251.

Anhang

STANDARD 8852 DATA LOG- GER SamplingRate:1.0;	26-3-2012, 8:57:55, 105.40, dBA	26-3-2012, 8:58:22, 74.10, dBA
26-3-2012, 8:57:29, 89.40, dBA	26-3-2012, 8:57:56, 105.80, dBA	26-3-2012, 8:58:23, 75.70, dBA
26-3-2012, 8:57:30, 82.70, dBA	26-3-2012, 8:57:57, 103.40, dBA	26-3-2012, 8:58:24, 78.70, dBA
26-3-2012, 8:57:31, 82.70, dBA	26-3-2012, 8:57:58, 93.10, dBA	26-3-2012, 8:58:25, 75.50, dBA
26-3-2012, 8:57:32, 89.00, dBA	26-3-2012, 8:57:59, 77.70, dBA	26-3-2012, 8:58:26, 79.80, dBA
26-3-2012, 8:57:33, 81.20, dBA	26-3-2012, 8:58:0, 72.00, dBA	26-3-2012, 8:58:27, 83.70, dBA
26-3-2012, 8:57:34, 80.40, dBA	26-3-2012, 8:58:1, 72.60, dBA	26-3-2012, 8:58:28, 78.00, dBA
26-3-2012, 8:57:35, 82.70, dBA	26-3-2012, 8:58:2, 70.80, dBA	26-3-2012, 8:58:29, 80.30, dBA
26-3-2012, 8:57:36, 84.30, dBA	26-3-2012, 8:58:3, 73.90, dBA	26-3-2012, 8:58:30, 76.10, dBA
26-3-2012, 8:57:37, 82.30, dBA	26-3-2012, 8:58:4, 74.50, dBA	26-3-2012, 8:58:31, 72.00, dBA
26-3-2012, 8:57:38, 81.80, dBA	26-3-2012, 8:58:5, 71.60, dBA	26-3-2012, 8:58:32, 73.70, dBA
26-3-2012, 8:57:39, 82.70, dBA	26-3-2012, 8:58:6, 81.60, dBA	26-3-2012, 8:58:33, 71.10, dBA
26-3-2012, 8:57:40, 82.30, dBA	26-3-2012, 8:58:7, 73.40, dBA	26-3-2012, 8:58:34, 83.10, dBA
26-3-2012, 8:57:41, 78.40, dBA	26-3-2012, 8:58:8, 83.50, dBA	26-3-2012, 8:58:35, 75.70, dBA
26-3-2012, 8:57:42, 75.20, dBA	26-3-2012, 8:58:9, 80.00, dBA	26-3-2012, 8:58:36, 75.30, dBA
26-3-2012, 8:57:43, 79.60, dBA	26-3-2012, 8:58:10, 90.90, dBA	26-3-2012, 8:58:37, 73.40, dBA
26-3-2012, 8:57:44, 82.10, dBA	26-3-2012, 8:58:11, 77.30, dBA	26-3-2012, 8:58:38, 72.10, dBA
26-3-2012, 8:57:45, 80.80, dBA	26-3-2012, 8:58:12, 85.90, dBA	26-3-2012, 8:58:39, 72.40, dBA
26-3-2012, 8:57:46, 100.70, dBA	26-3-2012, 8:58:13, 72.40, dBA	26-3-2012, 8:58:40, 73.60, dBA
26-3-2012, 8:57:47, 81.60, dBA	26-3-2012, 8:58:14, 73.60, dBA	26-3-2012, 8:58:41, 78.70, dBA
26-3-2012, 8:57:48, 78.00, dBA	26-3-2012, 8:58:15, 78.40, dBA	26-3-2012, 8:58:42, 73.90, dBA
26-3-2012, 8:57:49, 105.40, dBA	26-3-2012, 8:58:16, 76.50, dBA	26-3-2012, 8:58:43, 74.30, dBA
26-3-2012, 8:57:50, 104.80, dBA	26-3-2012, 8:58:17, 78.80, dBA	26-3-2012, 8:58:44, 80.80, dBA
26-3-2012, 8:57:51, 104.80, dBA	26-3-2012, 8:58:18, 72.80, dBA	26-3-2012, 8:58:45, 73.60, dBA
26-3-2012, 8:57:52, 94.30, dBA	26-3-2012, 8:58:19, 76.70, dBA	26-3-2012, 8:58:46, 72.50, dBA
26-3-2012, 8:57:53, 75.90, dBA	26-3-2012, 8:58:20, 80.10, dBA	26-3-2012, 8:58:47, 72.00, dBA

Abbildung 20: Ergebnis einer Schallpegelmessung (Datum, Uhrzeit und Schallpegel in dB mit dem Filter A)

**Tabelle 13: Sauerstoff- und Heliumkonzentrationen
während der Versuchstierbetäubung**

Tier	Sauerstoff Vol.%	Helium Vol.%
H 01	1,32	98,95
H 02	1,5	98,91
H 03	1,38	98,91
H 04	1,32	98,92
H 05	1,24	98,92
H 06	1,71	98,65
H 07	1,71	98,51
H 08	1,13	98,6
H 09	1,26	98,6
H 10	1,25	98,57
H 11	1,68	98,98
H 12	1,46	98,96
H 13	1,41	98,95
H 14	1,54	98,95
H 15	1,05	98,94
H 16	1,45	98,96
H 17	1,17	98,94
H 18	1,78	98,44
H 19	1,85	98,24
H 20	1,56	98,65
H 21	1,5	98,81
H 22	1,66	98,8
H 23	1,54	98,79
H 24	1,07	98,79
H 25	1,24	98,78
H 26	1,17	98,99
H 27	1,64	98,74
H 28	1,75	98,17
H 29	1,44	98,57
H 30	1,22	98,4
H 31	1,93	98,63
H 32	1,67	98,52
H 33	1,54	98,55
H 34	1,53	98,58
H 35	1,28	98,68
H 36	1,67	98,5
H 37	1,29	98,76
H 38	1,86	97,55
H 39	1,57	98,29
H 40	1,87	98,31