

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Untersuchung zur Optimierung der automatisierten
Isoflurannarkose für die Ferkelkastration mit den Narkosegeräten
PigletSnoozer, MS Pigsleeper Flexy und PorcAnest 3000®

von Jennifer Theresia Hanus
aus Regensburg

München 2023

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Krankheiten des Schweines

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. Mathias Ritzmann

Mitbetreuung durch: Dr. Susanne Zöls, Dr. Sophie Gumbert

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Mathias Ritzmann

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Karin Weber

Tag der Promotion: 22. Juli 2023

Meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG.....	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	3
1.	Rechtliche Grundlage für die Saugferkelkastration	3
2.	Chirurgische Saugferkelkastration	4
3.	Anästhesie.....	5
3.1.	Allgemeinanästhesie	5
3.2.	Allgemeinanästhesie beim Neugeborenen	6
4.	Schmerz	8
4.1.	Physiologie der Schmerzverarbeitung.....	8
4.2.	Schmerzbeurteilung während der Saugferkelkastration	9
5.	Isofluran	10
5.1.	Physikalisch-chemische Eigenschaften und Wirkmechanismen ...	10
5.2.	Nebenwirkungen	12
5.3.	Toxizität von Isofluran	12
5.4.	Arbeitsplatzgrenzwerte.....	13
6.	Inhalationsnarkosegeräte	14
6.1.	Narkosegeräte und Narkosesysteme	14
6.2.	Geräte zur Durchführung der automatisierten Isoflurannarkose...	16
6.2.1.	PigletSnoozer.....	19
6.2.2.	MS Pigsleeper Flexy	20
6.2.3.	PorcAnest 3000®.....	21
III.	MATERIAL UND METHODEN	23
1.	Ziel der vorliegenden Studie	23
2.	Projektdurchführung.....	24
2.1.	Studienbetriebe	24
2.2.	Saugferkelkastration unter automatisierter Isoflurannarkose	25
2.3.	Narkosegeräte.....	26
2.4.	Evaluierung der automatisierten Isoflurannarkose.....	28
2.4.1.	Erhobene Parameter	28
2.4.2.	Narkosetiefe.....	29

2.4.3.	Narkosezwischenfälle und Verluste.....	31
2.4.4.	Isofluranverbrauch und Filtergewichtszunahme.....	31
2.4.5.	Arbeitszeit.....	32
2.4.6.	Isoflurankonzentration am Arbeitsplatz.....	33
2.4.7.	Mikrobiologische Untersuchungen der Narkosemasken	34
2.4.8.	Optimierungsmaßnahmen	35
3.	Statistische Auswertung.....	37
IV.	ERGEBNISSE	39
1.	Studienpopulation	39
2.	Gerätefunktion	40
3.	Narkosetiefe	41
3.1.	Ergebnisse der Narkosetiefe	41
3.2.	Einflüsse auf die Narkosetiefe	44
4.	Narkosezwischenfälle und Verluste	46
5.	Isofluranverbrauch und Filtergewichtszunahme.....	47
6.	Arbeitszeit	48
7.	Isoflurankonzentration am Arbeitsplatz.....	49
8.	Mikrobiologische Untersuchungen der Narkosemasken	51
V.	DISKUSSION	53
1.	Gerätefunktion	53
2.	Narkosetiefe	55
2.1.	PigletSnoozer	57
2.2.	MS Pigsleeper	57
2.3.	PorcAnest 3000®	58
2.4.	Ergebnisse aus weiteren Studien mit anderen Geräten	59
2.5.	Optimierungen.....	60
2.5.1.	Gasflussgeschwindigkeit und Temperaturkompensation	60
2.5.2.	Einleitungszeit	63
2.5.3.	Trägergas	65
2.6.	Einflüsse auf die Narkosetiefe	67
2.7.	Weitere Einflussfaktoren auf die Narkosetiefe	68

3.	Narkosezwischenfälle und Verluste.....	71
4.	Isofluranverbrauch und Filtergewichtszunahme	74
4.1.	PigletSnoozer.....	74
4.2.	MS Pigsleeper.....	76
4.3.	PorcAnest 3000®.....	78
5.	Arbeitszeit	79
6.	Isoflurankonzentration am Arbeitsplatz	82
6.1.	Personenbezogene Messungen	83
6.2.	Messung an emissionsgefährdeten Stellen am Arbeitsplatz.....	84
7.	Mikrobiologische Untersuchungen der Narkosemasken.....	87
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	91
VII.	SUMMARY	93
VIII.	TABELLENVERZEICHNIS	95
IX.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	97
X.	LITERATURVERZEICHNIS	99
XI.	DANKSAGUNG.....	113

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ACTH	Adrenokortikotropes Hormon
AGS	Ausschuss für Gefahrstoffe
AGW	Arbeitsplatzgrenzwert
ARAS	Aufsteigendes retikuläres aktivierendes System
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
DänL	Dänische Landrasse
DE	Deutsches Edelschwein
DG	Durchgang
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DL	Deutsche Landrasse
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EEG	Elektroenzephalographie
ESBL	Extended Spectrum β -Lactamase
FerkBetSachkV	Ferkelbetäubungssachkundeverordnung
GKZ	Gesamtkeimzahl
i. m.	intramuskulär
IASP	International Association for the Study of Pain
IFA	Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung
KfS	Klinik für Schweine
LGL	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
LW	Landwirt:in
MAC	minimale alveoläre Konzentration
max	Maximum

mg/m ³	Milligramm/Kubikmeter
min	Minimum
MRSA	Methicillin-resistenter <i>Staphylococcus aureus</i>
MW	Mittelwert
n	Anzahl
NSAID	Nichtsteroidales Antiphlogistikum
p	Signifikanzwert
PA	PorcAnest 3000®
PBS	phosphatgepufferte Salzlösung (phosphate buffered saline)
Pi	Pietrain
ppm	parts per million
PSI	MS Pigsleeper Flexy
PSn	PigletSnoozer
R+D	Reinigung und Desinfektion
SD	Standardabweichung (standard deviation)
Sek	Sekunden
SVLFG	Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau
TierSchG	Tierschutzgesetz
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
Vol.-%	Volumenprozent
ZKR	Zwischenklauenreflex
ZNS	zentrales Nervensystem

I. EINLEITUNG

Die Saugferkelkastration stellt einen routinemäßigen Eingriff in ferkelerzeugenden Betrieben dar, dessen Durchführung im deutschen Tierschutzgesetz (TierSchG) geregelt wird. Vor der Novellierung des TierSchG im Jahr 2013 und dessen Verlängerung der Übergangsfrist wurden männliche Saugferkel in den ersten acht Lebenstagen zumeist betäubungslos kastriert (TierSchG, 2021). Seit dem 01.01.2021 ist die betäubungslose Ferkelkastration verboten (BMEL, 2021). Folglich standen in den letzten zwei Jahren die verschiedenen gesetzeskonformen Alternativen für die betäubungslose Saugferkelkastration vermehrt im Fokus der Öffentlichkeit. In Deutschland stehen aktuell die chirurgische Kastration (unter Injektions- oder Inhalationsnarkose), die Jungebermast und die Immunokastration als Alternative zur Verfügung (BMEL, 2021). Im Gegensatz zur Injektionsnarkose, welche nur durch Tierärzte und Tierärztinnen gemäß TierSchG erfolgen darf, dürfen seit dem Inkrafttreten der Ferkelbetäubungssachkundeverordnung (FerkBetSachkV) im Januar 2020 auch sachkundige Landwirte und Landwirtinnen die automatisierte Isoflurannarkose durchführen (BVL, 2018; FerkBetSachkV, 2020). Zu Beginn des Jahres 2021 kastrierten ca. 40 % der Sauenhalter:innen unter automatisierter Isoflurannarkose (BMEL, 2021). Mit dem Vorhaben diese Methode zu evaluieren und zu optimieren, entstand das Verbundprojekt „Untersuchung zur Optimierung der automatisierten Isoflurannarkose für die Ferkelkastration mittels mobiler Narkosegeräte und Implementierung der Methode in Ferkelerzeugerbetrieben“ (kurz: „IsoFer“), welches vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert und von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) betreut wird. Die vorliegende Studie ist der dritte Teil des Projektes „IsoFer“, mit dem Ziel drei automatisierte Isofluran-Narkosegeräte auf zwei Ferkelerzeugerbetrieben zu untersuchen und Optimierungsmaßnahmen für mehr Tierwohl und eine verbesserte Anwendersicherheit umzusetzen.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Rechtliche Grundlage für die Saugferkelkastration

Für alle Mitgliedsstaaten der Europäischen Union werden die Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen in der Richtlinie 2008/120/EG geregelt, in welcher die betäubungslose Kastration von unter acht Tage alten Saugferkeln durch eine qualifizierte Person erlaubt ist (RL 2008/120/EG). Auch in Deutschland war das Kastrieren unter acht Tage alter, normalanatomischer männlicher Ferkel ohne Betäubung bis zum 31.12.2020 im deutschen TierSchG zugelassen (TierSchG, 2021). Eine Kastration stellt eine Amputation eines Körperteils dar, jedoch ist nach § 6 TierSchG die Kastration unter acht Tage alter, männlicher Saugferkel vom Amputationsverbot ausgenommen. Mit dem Wegfall des § 5 Abs. 3 Nr. 1a aus dem TierSchG im Jahr 2013 wurde die betäubungslose Kastration unter acht Tage alter, männlicher Saugferkel in Deutschland verboten. Nach einer Übergangsfrist bis 2019 und deren zweijähriger Verlängerung trat diese Neuerung am 01.01.2021 in Kraft (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2018). Mit dem Erlass der FerkBetSachkV am 08.01.2020 wurde es erstmals anderen sachkundigen Personen außer Tierärzten und Tierärztinnen erlaubt, die Saugferkelkastration unter acht Tage alter männlicher, normalanatomischer Ferkel unter Inhalationsnarkose mit Isofluran durchzuführen (FerkBetSachkV, 2020). So können auch andere Personen außer Tierärzte und Tierärztinnen, sofern sie bestimmte Voraussetzungen erfüllen, durch erfolgreiche Teilnahme an einem theoretischen Lehrgang und anschließender Praxisphase die Sachkunde zur Durchführung der Betäubung von Saugferkeln zur Ferkelkastration erwerben (FerkBetSachkV, 2020). Das angewendete Inhalationsanästhetikum muss nach arzneimittelrechtlichen Vorschriften für die Narkose während der Kastration von unter acht Tagen alten Ferkeln zugelassen sein (FerkBetSachkV, 2020). Mit der Zulassung des Inhalationsnarkotikums „Isofluran Baxter vet 1000 mg/g“ durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) im November 2018 stand erstmals in der EU ein Inhalationsnarkotikum für die

Allgemeinanästhesie während der Kastration unter acht Tage alter, männlicher Ferkel zur Verfügung (BVL, 2018). Außerdem müssen die Narkosegeräte zur Durchführung der Saugferkelkastration vom Hersteller für diesen Verwendungszweck bestimmt sein, sich in einwandfreiem hygienischen und technischen Zustand befinden und regelmäßig gewartet werden (FerkBetSachkV, 2020). Die sachkundige Person ist verpflichtet Komplikationen (Wachzustände, Narkosezwischenfälle, Ferkelverluste während oder unmittelbar nach der Narkose) im Rahmen der Narkose zu dokumentieren und die Aufzeichnungen drei Jahre aufzubewahren und auf Verlangen der zuständigen Behörde vorzulegen (FerkBetSachkV, 2020).

2. Chirurgische Saugferkelkastration

Nach PLONAIT (2004) muss bei jedem Ferkel vor der Kastration das Allgemeinbefinden und die normalanatomische Beschaffenheit der Hoden kontrolliert werden (PLONAIT, 2004). Anschließend erfolgt nach vorheriger Reinigung und Desinfektion des Skrotums die Kastration, welche beim Saugferkel unbedeckt und ohne Ligatur durchgeführt wird (PLONAIT, 2004). Die Hoden werden dafür mit den Fingern nach kaudal gedrückt, mittels Skalpell mit ein oder zwei Inzisionen das Skrotum, die Hodenhüllen bis einschließlich des *Processus vaginalis* eröffnet und beide Hoden mit ein wenig Druck entwickelt (PLONAIT, 2004; HEINRITZI, 2006; PRUNIER et al., 2006). Die Schnittführung kann sowohl median entlang der *Raphe scroti* mit nur einem Schnitt als auch paramedian auf beiden Hoden mit zwei Schnitten erfolgen (PLONAIT, 2004; PRUNIER et al., 2006). Der Schnitt sollte so ventral wie möglich angesetzt werden um ein Abfließen des Wundsekrets zu ermöglichen und somit einer Wundinfektion vorzubeugen (PRUNIER et al., 2006) Im Anschluss werden beide Hoden gefasst und die Samenstränge mit einem Skalpell oder einem Emaskulator abgesetzt (PLONAIT, 2004; HEINRITZI, 2006; PRUNIER et al., 2006). Die Hautwunden bleiben offen und können mit einem geeigneten Desinfektionsmittel lokal desinfiziert werden (PLONAIT, 2004; HEINRITZI, 2006; PRUNIER et al., 2006).

3. Anästhesie

3.1. Allgemeinanästhesie

Unter Allgemeinanästhesie versteht man einen durch Anästhetika hervorgerufenen, reversiblen Zustand der Hypnose, Muskelrelaxation und Analgesie (ERHARDT et al., 2012). Ziel der Allgemeinanästhesie ist eine Ausschaltung von Empfindungs- und Sinneswahrnehmungen (AMMER & POTSCHKA, 2016). Bei den Allgemeinanästhetika unterscheidet man Injektionsanästhetika und Inhalationsanästhetika (ERHARDT et al., 2012). Zur Beurteilung der Narkosetiefe beim Tier werden zumeist klinische Parameter wie Herzfrequenz, Blutdruck, Tränenfluss und Abwehrreaktionen verwendet (ERHARDT & HABERSTROH, 2012). Bei Tieren unter Inhalationsanästhesie kann die Tiefe der Narkose anhand der Narkosestadieneinteilung nach GUEDEL (1927) beurteilt werden (ERHARDT et al., 2012). Dabei werden die folgenden vier Stadien unterschieden: Analgesiostadium (I), Exzitationsstadium (II), Toleranzstadium (III) und Asphyxiestadium (IV) (GUEDEL, 1927). Das Analgesiostadium bewirkt beim Tier, anders als beim Menschen, kein reduziertes Schmerzempfinden, sondern ist nur durch eine psychische Dämpfung gekennzeichnet (ERHARDT & HABERSTROH, 2012; AMMER & POTSCHKA, 2016). Das Exzitationsstadium stellt einen labilen Ruhezustand dar, bei dem die Hemmneurone im zentralen Nervensystem (ZNS) unterdrückt sind und die Tiere abrupt und unwillkürlich in einen Erregungszustand versetzt werden können (ERHARDT & HABERSTROH, 2012; AMMER & POTSCHKA, 2016). Die Erregungszustände treten im Exzitationsstadium umso stärker auf je langsamer dieses Stadium durchschritten wird, je größer die äußeren Reize sind und je höher das Stresslevel des Tieres vor der Gabe der Anästhetika war (ERHARDT & HABERSTROH, 2012). Im Toleranzstadium besteht eine Aufhebung des Muskeltonus, eine fortschreitende Depression der Atmung und ein Abfall der Herzfrequenz und des Blutdrucks (ERHARDT & HABERSTROH, 2012; AMMER & POTSCHKA, 2016). Das Toleranzstadium wird in drei bzw. vier Unterstadien eingeteilt und chirurgische Eingriffe werden in der Regel im Stadium III/2 bis III/3 durchgeführt (ERHARDT & HABERSTROH, 2012;

AMMER & POTSCHKA, 2016). Schmerzreize lösen in diesem Stadium normalerweise keine Reaktionen aus (ERHARDT & HABERSTROH, 2012). Durch die depressiven Effekte des Narkotikums auch auf die lebenswichtigen Zentren in der *Medulla oblongata* können die Vitalfunktionen beeinflusst werden (AMMER & POTSCHKA, 2016). Vertieft man die Anästhesie also weiter, wird das Asphyxiestadium erreicht, in dem es zu einer Lähmung des Atemzentrums kommt, welche einem Herz-Kreislauf-Versagen zeitlich vorausgeht (ERHARDT & HABERSTROH, 2012; AMMER & POTSCHKA, 2016). Hier müssen sofortige Reanimationsmaßnahmen eingeleitet werden (ERHARDT & HABERSTROH, 2012). Nach Beendigung der Narkose werden die Stadien in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen (AMMER & POTSCHKA, 2016). Die meisten Narkotika haben keinen analgetischen Effekt, sodass die Schmerzempfindung lediglich in Folge der Bewusstlosigkeit aufgehoben ist (AMMER & POTSCHKA, 2016). Klassische Komplikationen einer Allgemeinanästhesie beim Schwein generell sind Hypothermie, maligne Hyperthermie, Atemdepression mit Hyperkapnie und Hypoxämie und Hypotension (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020c).

3.2. Allgemeinanästhesie beim Neugeborenen

Nach ERHARDT et al. (2012b) ist „das junge Tier [...] nicht einfach die kleine Ausgabe eines ausgewachsenen Tieres“. Die Entwicklung der Mehrheit der Vitalfunktionen (Herz-Kreislauf-, Atem-, Leber-, Nierenfunktion, Neurovegetativum) ist erst ab der zwölften Lebenswoche abgeschlossen, sodass bis zu diesem Alter ein höheres Narkoserisiko resultiert (ERHARDT et al., 2012b). So ist die Blut-Hirn-Schranke beim Neonaten durchlässiger für Anästhetika und das sympathische Nervensystem ist ebenfalls noch unreif (ERHARDT et al., 2012b; EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020b). Die kleinere Alveolarfläche, die niedrigere Erythrozytenzahl und der höhere Stoffwechsel beim Jungtier werden im Vergleich zum adulten Tier durch eine höhere Atemfrequenz und ein größeres Atemminutenvolumen kompensiert (ERHARDT et al., 2012b; EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020b). Zudem haben die beim Neonaten noch unreifen Chemorezeptoren für Sauerstoff und Kohlendioxid eine ungenügende Steuerung der Atemfunktion bei hohen

Kohlendioxid- und niedrigen Sauerstoff-Partialdrücken zur Folge (ERHARDT et al., 2012b; EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020b). Des Weiteren bedingt der erhöhte Stoffwechsel von Jungtieren einen zwei- bis dreifach erhöhten Sauerstoffbedarf und -verbrauch, welcher nur über eine zwei- bis dreifach höhere Atemfrequenz gedeckt werden kann (ERHARDT et al., 2012b). Bei einer Hypoxie beim Neonaten steigt als erste Reaktion das Minutenvolumen durch tiefere Atemzüge an, danach kommt es zu einer Erhöhung der Atemfrequenz (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020b). Bei einer Hypotension kann das Herz beim Neonaten die Kontraktilität nur wenig erhöhen und es kommt üblicherweise zu einer Erhöhung der Herzfrequenz; somit ist der Blutdruck abhängig von der Herzfrequenz (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020b). Inhalationsnarkotika verstärken mit ihrer vasodilatierenden Wirkung eine Hypotonie, welche beim Jungtier ohnehin aufgrund einer mangelhaften Steuerung der Vasomotorik durch noch unreife Barorezeptoren besteht (ERHARDT et al., 2012b). Außerdem ist beim Jungtier ein Laryngospasmus leichter auslösbar als beim adulten Tier (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020b). Aufgrund der geringen Metabolisierung von Isofluran eignet sich dieses laut EBERSPÄCHER-SCHWEDA (2020b) besonders gut für Narkosen beim Jungtier. Jedoch ist nach EBERSPÄCHER-SCHWEDA (2020b) der MAC-Wert beim neugeborenen Tier niedriger, einige Tage nach der Geburt aber höher als beim erwachsenen Tier, weshalb nach Wirkung dosiert werden sollte.

4. Schmerz

4.1. Physiologie der Schmerzverarbeitung

Nach der International Association for the Study of Pain (IASP 1979) wird Schmerz als ein unangenehmes Sinnes- und Gefühlserlebnis definiert, welches mit aktueller oder potenzieller Gewebeschädigung einhergeht oder mit einer solchen vergleichbar ist (HENKE et al., 2012; BENRATH et al., 2020). Schmerzrezeptoren, sog. Nozizeptoren, sind freie Nervenendigungen, welche in unterschiedlicher Anzahl und Art in den verschiedenen Geweben vorkommen und auf mechanische, thermische oder chemische Noxen reagieren (HENKE et al., 2012; SANN, 2022). Sowohl äußere Reize (mechanisch, thermisch) als auch körpereigene Substanzen, sog. Entzündungsmediatoren, können Schmerzreize auslösen (HENKE et al., 2012; BENRATH et al., 2020). Über afferente Nervenfasern wird der Schmerzreiz über die Hinterwurzel des Rückenmarks weitergeleitet und auf ein zweites Neuron umgeschaltet (HENKE et al., 2012; BENRATH et al., 2020; SANN, 2022). Diese kreuzen zur Gegenseite und ziehen über den *Tractus spinothalamicus* zu den Thalamuskernen im Gehirn (HENKE et al., 2012; SANN, 2022). Vor der Kreuzung der Seiten bestehen Verbindungen zu sympathischen und motorischen Efferenzen, wodurch sympathische und motorische Reflexe ausgelöst werden (HENKE et al., 2012). So entsteht auch der spinale Wegziehreflex bei akutem Schmerz (BENRATH et al., 2020). Durch Verbindungen zum Hirnstamm haben Schmerzreize Einfluss auf das Atem- und Kreislaufzentrum (HENKE et al., 2012). Der Wachheitsgrad und die Aufmerksamkeit werden über zusätzliche Verbindungen zum aufsteigenden retikulären aktivierenden System (ARAS) durch Schmerzreize beeinflusst (HENKE et al., 2012). Schmerzimpulse werden auf vielen Stufen des ZNS über Hemmmechanismen und Endorphine moduliert (HENKE et al., 2012; BENRATH et al., 2020). Der absteigende Hemmmechanismus kann durch verschiedene physiologische und pathophysiologische Einflüsse, wie Schmerz, Stress oder Angst sowie über die Aktivierung von Opiatrezeptoren durch körpereigene Opioide ausgelöst werden (SANN, 2022). Durch die noch nicht ausgereifte Entwicklung spinaler

Hemmmechanismen sind Neugeborene gegenüber Schmerzen empfindlicher als ausgewachsene Tiere (BENRATH & SANDKÜHLER, 2000; ERHARDT et al., 2012b). Im Gegensatz zu früheren Annahmen sind die Schmerzschwellen bei Neugeborenen niedriger und die Schmerzreaktion, wenn auch noch als unspezifische, ungerichtete Reaktion, stärker ausgeprägt als bei Adulten (BENRATH & SANDKÜHLER, 2000).

4.2. Schmerzbeurteilung während der Saugferkelkastration

Um Schmerzverhalten bei einem Tier beurteilen zu können sind grundlegende Kenntnisse und Erfahrung über speziesspezifische physiologische und anatomische Charakteristika unabdingbar (MORTON & GRIFFITHS, 1985; MOLONY & KENT, 1997; HENKE et al., 2012; SANN, 2022). Aufgrund des fehlenden verbalen Ausdrucksvermögens bei schmerzhaften Zuständen kann bei Tieren primär das Verhalten Hinweise auf Schmerzen geben, wobei es große artspezifische Unterschiede gibt (SANN, 2022). Generell zeigen Raubtiere stärkere Schmerzäußerungen als Beutetiere (SANN, 2022). Subjektive und stark spezieabhängige Indikatoren, wie eine verminderte Aktivität, verändertes Gruppenverhalten und Temperament, verschlechterter Pflegezustand, reduzierte Futter- und Wasseraufnahme, veränderter Urin- und Kotabsatz, Gewichtsverlust sowie Lautäußerungen besonders bei akuten Noxen deuten auf Schmerzen hin (HENKE et al., 2012; SANN, 2022). MORTON und GRIFFITHS (1985) versuchten anhand eines Punktesystems die Schmerzbeurteilung beim Tier zu objektivieren. ISON et al. (2016) betonen, dass die Methodik der Schmerzbeurteilung nur Schmerz als solchen und keine Zustände wie Stress oder Angst messen soll. Des Weiteren muss die Schmerzmessung reproduzierbar und darf nicht beeinflussbar durch Voreingenommenheit oder Subjektivität des Beobachters sein (ISON et al., 2016). Außerdem soll die Methodik sensitiv sein, geringgradige von hochgradigen Schmerzzuständen unterscheiden können und linear mit der Schwere des Schmerzes ansteigen (ISON et al., 2016). ISON et al. (2016) sowie SHEIL und POLKINGHORNE (2020) werteten retrospektiv verschiedene Studien zur Schmerzbeurteilung beim Schwein bei schmerzhaften Ereignissen aus und kamen beide zur Schlussfolgerung, dass sich die Messung

physiologischer Parameter, wie Adrenokortikotropes Hormon (ACTH), Cortisol, Adrenalin, Blutzucker, Blut-Laktat, endogene Opioide, Herzfrequenz, Blutdruck und Hauttemperatur nicht zur alleinigen Schmerzbeurteilung eignen und vielmehr auch durch Stress alleine (ohne schmerzhaftes Noxe) beeinflusst werden. In der Studie von RÜDEBUSCH et al. (2022) erwiesen sich Elektroenzephalographie-Messungen (EEG) als unzuverlässiger Parameter zur Bestimmung der Narkosetiefe und der Schmerzempfindung. Hingegen konnte die Häufigkeit, Dauer, Lautstärke und Frequenz der Vokalisation während eines schmerzhaften Ereignisses im Vergleich zu Kontrolltieren, die keinen schmerzhaften Reiz erfuhren, mithilfe von einer Geräuschanalyse-Software unterschieden werden (ISON et al., 2016; SHEIL & POLKINGHORNE, 2020). Allerdings fanden diese Studien meist in speziellen Räumen und nicht direkt im Stallabteil, in dem die Ergebnisse durch Hintergrundgeräusche beeinflusst werden, statt (SHEIL & POLKINGHORNE, 2020). Sowohl ISON et al. (2016) als auch SHEIL und POLKINGHORNE (2020) schlussfolgerten, dass die Beurteilung von Abwehrbewegungen den Anforderungen einer Schmerzevaluation am ehesten gerecht wird.

5. Isofluran

5.1. Physikalisch-chemische Eigenschaften und Wirkmechanismen

Das Inhalationsanästhetikum Isofluran ist ein halogenierter Äther und stellt ein Strukturisomer von Enfluran dar (GRAEFE, 2016; LARSEN et al., 2022a). Es ist eine klare, farblose, nicht brennbare Flüssigkeit und hat einen ätherartigen Geruch (LARSEN et al., 2022a). Es ist licht- und alkalibeständig, reagiert nicht mit Metall, jedoch löst es sich in Gummi (LARSEN et al., 2022a). Der Siedepunkt liegt bei 48,5 °C, wodurch Isofluran bei Raumtemperatur in flüssiger Form vorliegt (JEDLICKA et al., 2021; LARSEN et al., 2022a). Es muss mithilfe eines speziellen Verdampfers in die gasförmige Form überführt werden, um über die Atmung in der Lunge aufgenommen zu werden (LARSEN et al., 2022a). Der Dampfdruck von Isofluran bei 20 °C liegt bei 238 mmHg (LARSEN et al., 2022a). Die narkotische Wirkung kommt vor allem durch die

Interaktion mit GABA_A-Rezeptoren zustande, was eine Verminderung der neuronalen Erregbarkeit zur Folge hat (GRAEFE, 2016). GRAEFE (2016) hat für Isofluran eine zusätzliche Wirkung über Zwei-Poren-K⁺-Kanäle beschrieben. Isofluran hat eine gute hypnotische und muskelrelaxierende Wirkung, jedoch nur schwach analgetische Eigenschaften (ERHARDT et al., 2012a; EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020d). Isofluran wird zum größten Teil unverändert abgeatmet und nur zu 0,2 % in der Leber metabolisiert, weswegen die Organotoxizität als sehr gering eingestuft wird (JEDLICKA et al., 2021; LARSEN et al., 2022a). Die Tiefe der Narkose ist vom Partialdruck des Inhalationsanästhetikums im Gehirn abhängig (LARSEN, 2020). Die Konzentration des Narkosegases in der Inspirationsluft bestimmt den alveolären Partialdruck, welcher wiederum den Partialdruck des Gases im Blut beeinflusst (LARSEN, 2020). Die Geschwindigkeit bis zum Erreichen der Narkosetiefe hängt von der Löslichkeit des Narkotikums im Blut ab, welche auch als Blut-Gas-Verteilungskoeffizient bezeichnet wird (LARSEN, 2020). Isofluran hat einen Blut-Gas-Verteilungskoeffizient von 1,4 und ist somit besser löslich im Blut als Sevofluran (0,69) oder Desfluran (0,42) (LARSEN, 2020; JEDLICKA et al., 2021). Bei gut löslichen Inhalationsanästhetika steigt der Partialdruck im Blut und im Gehirn langsam an, bei schlecht löslichen dafür schnell, wodurch Isofluran im Vergleich zu Sevofluran oder Desfluran folglich langsamer anflutet (DEILE et al., 2013; LARSEN, 2020). Der MAC-Wert gibt die Wirkstärke eines Inhalationsanästhetikums an und ist definiert als die minimale alveoläre Konzentration eines Inhalationsanästhetikums in den Alveolen, bei der 50 % aller Patienten auf einen definierten Schmerzreiz mit keiner motorischen Abwehrbewegung reagieren (DEILE et al., 2013; LARSEN, 2020). Die anästhetische Wirkung ist umso stärker, je niedriger der MAC-Wert ist (LARSEN, 2020). Mit einem MAC₅₀-Wert von 1,15 % liegt Isofluran unter Sevofluran (2,05 %) und Desfluran (6,0 %) und ist somit am stärksten anästhetisch wirksam (LARSEN, 2020). Bei Säuglingen, Fieber und auch bei erhöhten Katecholaminspiegeln steigt der MAC-Wert, wohingegen eine Anämie, Hypothermie und Hypotension den MAC-Wert reduzieren (DEILE et al., 2013).

5.2. Nebenwirkungen

Isofluran hat dosisabhängig Wirkung auf das Herz-Kreislaufsystem und den Respirationstrakt (LARSEN, 2020; EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020d). So kommt es zur Abnahme der Kontraktilität des Myokards mit konzentrationsabhängigem Abfall des Herzzeitvolumens (LARSEN, 2020; LARSEN et al., 2022a). Außerdem bedingt Isofluran dosisabhängig einen Blutdruckabfall aufgrund einer gefäßdilatierenden Wirkung, was zu einem reflektorischen Anstieg der Herzfrequenz bis hin zur Tachykardie führen kann (LARSEN, 2020; LARSEN et al., 2022a). Des Weiteren wirkt Isofluran konzentrationsabhängig atemdepressiv, bronchodilatatorisch und führt bei einer Narkoseeinleitung über die Maske zu Atemanhalten und Husten (LARSEN, 2020; LARSEN et al., 2022a). Isofluran zählt außerdem zu den Triggersubstanzen der malignen Hyperthermie (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020d; LARSEN et al., 2022a).

5.3. Toxizität von Isofluran

Isofluran ist laut dem Institut für Arbeitsschutz (IFA) der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) ein Gefahrstoff (DGUV, 2022a). Subnarkotische Konzentrationen (1150-4600 ppm) können bei Personen dosisabhängig zu neurologischen Störungen, wie Beeinträchtigung des Erinnerungsvermögens, verzögerte Reaktionen auf Kommandos und abgeschwächtem Lidreflex führen (DGUV, 2022a). Ein Großteil der Untersuchungen an Tier und Mensch zeigen, dass für Mitarbeiter im Operationsbereich (Humanmedizin) kein erhöhtes Krebsrisiko durch Inhalationsanästhetika besteht (HABERSTROH, 2012). Allerdings liegen für die Beurteilung der Kanzerogenität von Isofluran noch keine ausreichenden Angaben vor (DGUV, 2022a). Es sind nur wenige Angaben für den Menschen zur chronischen Toxizität, zur toxischen Wirkung auf den Reproduktionstrakt und das genotoxische Potential von Isofluran verfügbar, allerdings konnte in Tierversuchen bei mehrfacher Exposition gegenüber narkotischen Konzentrationen keine erhöhte Toxizität an den Tieren nachgewiesen werden (DGUV, 2022a). LARSEN et al. (2022a) begründen die weder leber- oder nephrotoxische noch teratogene, karzinogene oder mutagene Wirkung von Isofluran mit der geringen

Metabolisierung von 0,2 %, weisen aber darauf hin, dass eine niedrige Metabolisierungsrate nicht automatisch mit fehlender Lebertoxizität gleichgesetzt werden darf. Isofluran wird zu Trifluoressigsäure metabolisiert, was durch immunologische Prozesse in seltenen Fällen zu einer Leberschädigung führen kann (LARSEN et al., 2022a). Hingegen stellten HOERAUF et al. (1999) bei geringen Expositionskonzentrationen des OP-Personals gegenüber Isofluran und Lachgas ein erhöhtes Risiko für Erbgutschäden fest.

5.4. Arbeitsplatzgrenzwerte

Die Technischen Regeln für Gefahrstoffe 525 (TRGS), welche vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) ermittelt werden, regeln den Umgang mit Gefahrstoffen in medizinischen Einrichtungen (AGS, 2014). Der AGS (2022b) definiert den Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) als Schichtmittelwert hochgerechnet auf eine tägliche achtstündige Exposition an fünf Tagen pro Woche während der Lebensarbeitszeit. Für Isofluran gibt es in Deutschland noch keinen festgesetzten AGW, allerdings wurde es in die Bearbeitungsliste des AGS aufgenommen, mit dem Ziel einen AGW für Isofluran zu bestimmen und in die TRGS mitaufzunehmen (AGS, 2022a, 2022b). So wird häufig der international niedrigste Grenzwert von 15 mg/m^3 (Kanada, Israel) als Bewertungsmaßstab hinzugezogen (DGUV, 2022a). Der Arbeitsplatzgrenzwert anderer Länder liegt bei 38 mg/m^3 (Dänemark), 77 mg/m^3 (Finnland, Schweiz), 80 mg/m^3 (Schweden, Österreich) oder bei 383 mg/m^3 (Großbritannien, Spanien) (DGUV). Bei Maskennarkosen können ausströmende Narkosegase zu Narkosegasbelastungen der Beschäftigten führen, wodurch geeignete Maßnahmen zur Reduktion der Exposition zu treffen sind (AGS, 2014). So sind lokale Absaugungen an den Masken, Absaugsysteme z. B. in der Aufwachbox sowie ein ausreichender Luftwechsel am Arbeitsplatz geeignete Maßnahmen (AGS, 2014). Nach humanmedizinischen Erfahrungen bietet eine natürliche Lüftung keinen ausreichenden Schutz vor Narkosegasen bei auftretenden Leckagen während einer Inhalationsanästhesie (AGS, 2014). LARSEN et al. (2022b) benennen den Einsatz von Absaugvorrichtungen und Narkosefiltern als wichtigste Maßnahme zur Beseitigung überschüssiger Narkosegase. In

Untersuchungen zum Anwenderschutz bei der Ferkelkastration unter Inhalationsnarkose von RIETHMÜLLER und STRÖKER (2020) wurden sowohl bei elf von 51 personenbezogenen Messungen in der Atemluft der Beteiligten, als auch bei mehreren stationären Messungen am Gerät teilweise sehr hohe Messwerte oberhalb des zuvor genannten Grenzwertes für Deutschland gemessen. Dabei berichteten die Hälfte der beteiligten Anwender:innen von Kopfschmerzen, Unwohlsein und Schwindel nach der Kastration (RIETHMÜLLER & STRÖKER, 2020). Dies unterstreicht die Bedeutung einer wirksamen Narkosegasabsaugung (SÄRE et al., 2011; HABERSTROH, 2012). Außerdem fördert Isofluran den Treibhauseffekt und die Zerstörung der Ozonschicht (KUPPER & SPRING, 2008; SULBAEK ANDERSEN et al., 2010; LOSCAR et al., 2019). Der globale Klimawandel ist in erster Linie verursacht durch die ansteigenden atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Stickstoffmonoxid (SULBAEK ANDERSEN et al., 2010). Obwohl der Beitrag der Anästhesiegase Isofluran, Desfluran und Sevofluran zum Klimawandel im Vergleich zu Kohlendioxid schwindend gering ist, sollte der kumulative Einfluss von vielen kleinen beitragenden Stoffen wie anderer halogener organischer Verbindungen nicht vernachlässigt werden (SULBAEK ANDERSEN et al., 2010). Nach Berechnungen von SULBAEK ANDERSEN et al. (2010) ist der durchschnittliche Klimaeintrag eines anästhetischen Eingriffs an der Universität Michigan vergleichbar mit der Emission von 22 kg Kohlendioxid.

6. Inhalationsnarkosegeräte

6.1. Narkosegeräte und Narkosesysteme

Ein Narkosegerät ist zur Durchführung einer Inhalationsnarkose ein zentraler Bestandteil (LARSEN, 2020). Die Aufnahme von Narkosegasen erfolgt über die Lunge, von welcher sie über den Blutstrom verteilt werden und ihre dämpfende Wirkung im ZNS, dem Hauptwirkort von Inhalationsnarkotika, erzielen (LARSEN et al., 2022a). Da sich Isofluran bei Raumtemperatur im flüssigen Zustand befindet, muss es für eine Inhalationsnarkose zuerst mit einem speziellen, für das

Inhalationsnarkotikum zugelassenen, Verdampfer in dampfförmigen Zustand überführt werden, wofür auch ein Trägergas (Raumluft/Sauerstoff) erforderlich ist (HENKE & HABERSTROH, 2012; LARSEN, 2020). Die Verdampfung von Flüssigkeiten ist ein temperaturabhängiger Prozess, d. h. mit steigender Temperatur geht mehr Anästhetikum in den dampfförmigen Zustand über und umgekehrt (HENKE & HABERSTROH, 2012). Das flüssige Anästhetikum kühlt während des energiereichen Verdampfungsprozesses durch die Verdunstungskälte ab, sodass, wenn der Verdampfer über keine Temperaturkompensation verfügt, mit zunehmender Narkosedauer weniger Inhalationsnarkotikum verdampft als am Anfang (HENKE & HABERSTROH, 2012). Durch mehrere Mechanismen kann bei einer Erhöhung des Gasflusses die Konzentration des Inhalationsanästhetikums im Gasgemisch abnehmen (HENKE & HABERSTROH, 2012). Die Verdampfer stammen meist aus der Humanmedizin und sind mit Kompensationsmechanismen ausgestattet, um bei Erhöhungen des Gasflusses einem unkontrollierten Konzentrationsabfall des Inhalationsanästhetikums entgegenzuwirken (HENKE & HABERSTROH, 2012). Die einzelnen Trägergase (Sauerstoff/Raumluft) unterscheiden sich in Dichte, Viskosität und in ihrer Löslichkeit im Inhalationsnarkotikum, wodurch es zu Abweichungen von der eingestellten Konzentration des Inhalationsanästhetikums kommen kann (HENKE & HABERSTROH, 2012). Ein Präzisionsverdampfer für Isofluran arbeitet bei einer Umgebungstemperatur von 10 °C bis 40 °C mit einer Genauigkeit von ca. 10 % (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020a). Bei den automatisierten Narkosegeräten zur Saugferkelkastration handelt es sich um Nicht-Rückatmungs-Systeme. Das bedeutet, dass, anders als bei Rückatmungssystemen, Frischgas und Expirationsluft streng voneinander getrennt sind und die Expirationsluft vollständig aus dem System entfernt und nicht erneut eingeatmet wird (HENKE & HABERSTROH, 2012; EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020a; LARSEN et al., 2022b). Aus diesem Grund muss der Frischgasfluss mindestens so groß wie das Atemminutenvolumen (ca. 200-250 ml/kg/min) sein (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020a). Das Atemminutenvolumen errechnet sich aus dem Atemzugvolumen (10-15 ml/kg) multipliziert mit der

Atemfrequenz (Schwein 15–30 Atemzüge/min) (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020a). In der Studie von HÄRTEL et al. (2021) wogen die 955 untersuchten Ferkel im Durchschnitt 2,0 kg bei der Kastration. Daraus kann ein Atemminutenvolumen von 300–900 ml/min für die Saugferkel errechnet werden. Vorteile des Nicht-Rückatmungs-Systems sind ein niedriges Totraumvolumen, wenig Atemwiderstand und die Möglichkeit zu schnellen Konzentrationsänderungen in der Inspirationsluft (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020a). Durch den hohen Frischgasfluss im Nicht-Rückatmungs-System wird allerdings sehr viel Inhalationsanästhetikum und Trägergas verbraucht, wodurch dieses System teurer ist und eine höhere Umweltexposition darstellt, da bei ungenügender Absaugung die Narkosegase in die Umgebung entweichen (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020a).

6.2. Geräte zur Durchführung der automatisierten Isoflurannarkose

Die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) hat insgesamt fünf Gerätetypen für die Saugferkelkastration von unterschiedlichen Herstellern geprüft und zertifiziert (DLG, 2020a). Mit der Zertifizierung bestätigt die DLG die Funktionssicherheit sowie das Einhalten wichtiger Aspekte des Tierschutzes, der Anwendersicherheit und des Umweltschutzes (DLG, 2020b). Im Folgenden werden das generelle Prinzip der automatisierten Isoflurannarkose sowie die fünf Geräte beschrieben, wobei nur die drei in dieser Studie verwendeten Geräte im Detail erläutert werden. Die fünf Gerätetypen sind ähnlich aufgebaut und funktionieren nach dem gleichen Prinzip. Sie bestehen aus einem fahrbaren Grundgerüst aus Stahl, sind mit drei oder vier Narkosestationen ausgestattet und werden mit Raumluft oder technischem Sauerstoff betrieben (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Die Ferkelhalter bestehen aus Edelstahl (teilweise mit Schaumstoffeinlage) oder Plastik, haben eine universelle Größe und sind für Ferkel bis zum siebten Lebensstag ausgelegt (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Bei den einheitlich großen Narkosemasken handelt es sich um Gummimanschetten mit geschlossener, dahinter liegender Atemkammer (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Die Verdampfer verfügen je nach Gerät über eine

integrierte Heizung zur Temperaturkompensation, wobei die Angaben für die zulässigen Umgebungstemperaturen während des Betriebs zwischen 5-40 °C schwanken (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Das flüssige Narkosegas Isofluran wird vor der Kastration in den Verdampfer gefüllt, welcher bei allen Geräten manipulationssicher auf 5 Vol.-% eingestellt und nicht individuell steuerbar ist (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Die Durchflussgeschwindigkeit aller kommerziell erhältlichen automatisierter Narkosegeräte für die Saugferkelkastration liegt bei 2 l/min (RÜDEBUSCH et al., 2022). Der Narkosegasfluss wird beim Einlegen des Ferkelrüssels in die Narkosemaske je nach Gerät durch Passieren einer Lichtschranke oder durch Öffnen eines elektromagnetischen Ventils aufgrund der Kompression auf einen Stempel ausgelöst (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Das im Verdampfer erzeugte Narkosegasgemisch wird während der Narkoseeinleitungszeit von 70 Sekunden mit konstantem Volumenstrom mithilfe eines Kompressors bzw. einer Elektropumpe oder einer Sauerstoffdruckflasche an die Narkosemasken/Atembeutel herangeführt (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020e). Zur Aufrechterhaltung der Narkose strömt während der Kastration für weitere 15-20 Sekunden (je nach Gerätetyp) Narkosegas in die Masken, sodass sich eine Gesamtnarkosedauer von 85-90 Sekunden ergibt (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Die Narkosegaszufuhr kann bei verzögertem Kastrationsbeginn oder nach positivem Zwischenklauenreflex bei vier der fünf Geräte für die einzelnen Narkosemasken durch Betätigung eines Knopfes gegebenenfalls um wenige Sekunden verlängert werden (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Nach Ablauf dieser Zeit strömt nur noch Raumluft/Sauerstoff zur Narkosemaske und das Ferkel kann nach erfolgter Kastration entfernt werden (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Durch einen Countdown und farbige Lichtkennzeichen oder durch schriftliche Hinweise im Display wird dem:der Kastrateur:in zu jeder belegten Position der Stand der Betäubung und der Kastrationsstart signalisiert (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Durch eine Restgasabsaugung wird an besonders emissionsgefährdeten Stellen am Gerät überschüssiges Narkosegasgemisch in spezielle Aktivkohlefilter abgesaugt (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). Die Geräte sollten nur an gut belüfteten

Orten mit drei- bis fünffachem Luftaustausch pro Minute betrieben werden (MS SCHIPPERS, 2020; GFS, 2021). Neben regelmäßigen Wartungen durch den Hersteller nach einer bestimmten Anzahl von Narkosen bzw. einer bestimmten Zeitspanne fallen auch Wartungsarbeiten an, die der:die Anwender:in erledigen muss, indem regelmäßig Kabel, Schläuche, Gummimasken etc. auf Beschädigungen kontrolliert werden und eine ordnungsgemäße Reinigung und Desinfektion erfolgt (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e). In Abbildung 1 sind die fünf, durch die DLG zertifizierten Narkosegeräte dargestellt.

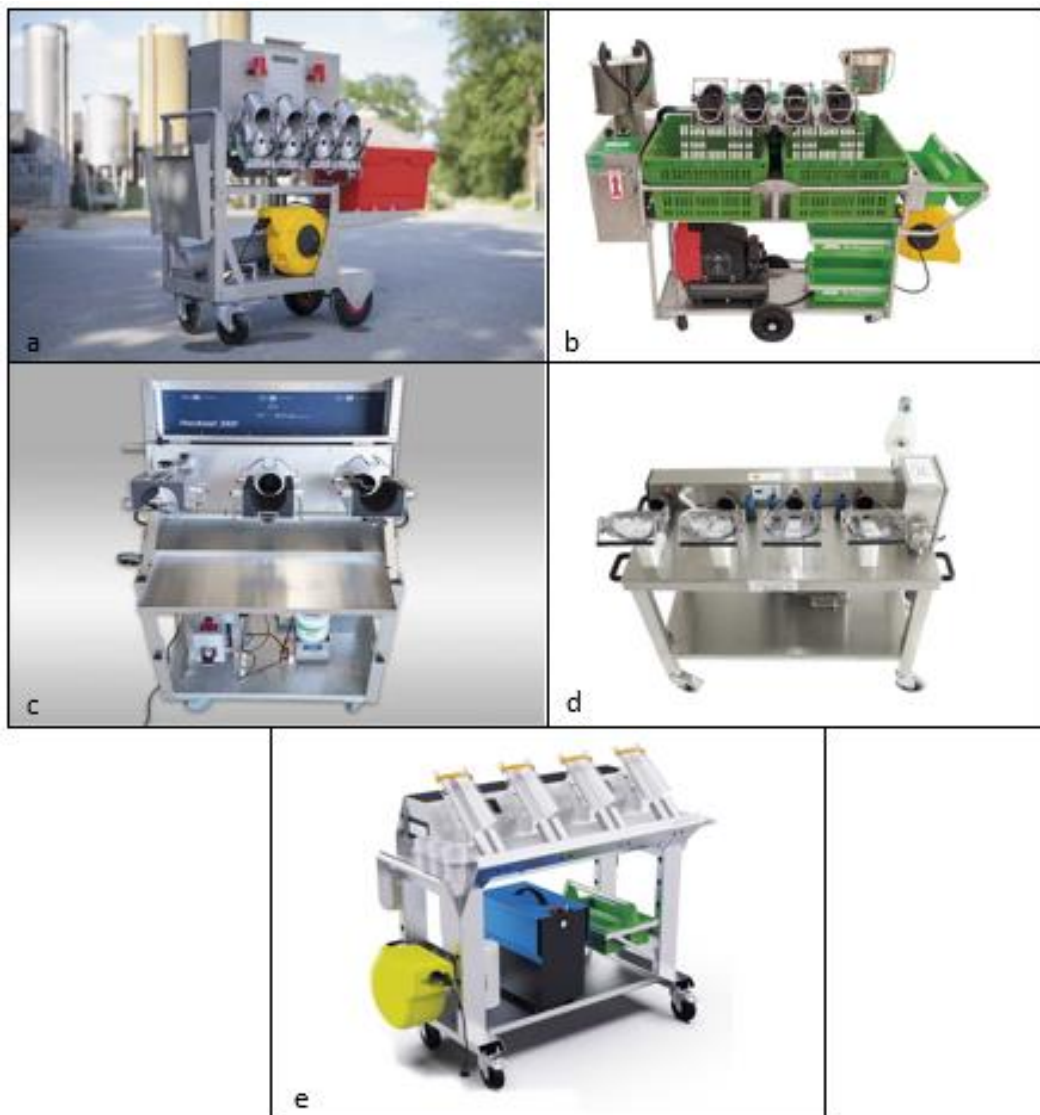


Abbildung 1: Durch die DLG zertifizierte Narkosegeräte. PigletSnoozer (a), MS Pigsleeper Flexy (b), PorcAnest 3000® (c), PigNap 4.0. (d), Anestacia® (e) (Bilder Copyright DLG: © 2020 DLG (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e)).

6.2.1. PigletSnoozer

Das Isofluran-Narkosegerät PigletSnoozer (Fa. GFS Top-Animal-Service GmbH, Ascheberg) verfügt über vier Narkosestationen und kann je nach Variante mit technischem Sauerstoff oder Raumluft als Trägergas betrieben werden (DLG, 2020g; GFS-TOP-ANIMAL-SHOP, 2020; GFS, 2021). Es besitzt eine Heizung am Verdampfer zur Temperaturkompensation und sollte bei einer Umgebungstemperatur zwischen 15 °C und 30 °C verwendet werden (DLG, 2020g; GFS, 2021). Das Gerät hat eine Restgasabsaugung an der Rückseite der Narkosemasken und zusätzlich eine Absaugung innerhalb der Versorgungseinheit sowie in der Ferkelaufwachbox (DLG, 2020g). Das Restgas wird in einem Zweikammer-Aktivkohlefilter gefiltert, welcher für 650 Ferkelnarkosen ausreicht und durch Abwärtszählung im Display den aktuellen Stand anzeigt (DLG, 2020g; GFS, 2021). Nach Inbetriebnahme benötigt der PigletSnoozer etwa zwei Minuten zum Aufheizen und für einen Selbsttest (DLG, 2020g). Die Betriebsbereitschaft oder auch Betriebsstörungen werden im Display angezeigt und das weitere Vorgehen bei Störungen in der Betriebsanleitung erklärt (DLG, 2020g; GFS, 2021). Beim Einlegen eines Ferkels in die Narkosemaske, was in Rückenlage erfolgt, wird der Narkosegasfluss durch Passieren einer Lichtschranke ausgelöst (DLG, 2020g; GFS, 2021). Die Einleitungszeit von 70 Sekunden ist gefolgt von einer 15 Sekunden langen Kastrationszeit, in welcher weiterhin in Stößen Isofluran und Trägergas im Wechsel nachdosiert werden (DLG, 2020g; GFS, 2021). Eine Verlängerung der Narkosedauer um weitere zehn Sekunden (bis maximal 120 Sekunden Narkosedauer) ist für jede einzelne Station per Druck einer Taste zum Beispiel nach positivem Zwischenklauenreflex oder bei verzögertem Kastrationsbeginn möglich (DLG, 2020g; GFS, 2021). Danach strömt nur noch Trägergas zur Narkosemaske bis das Ferkel entnommen wird (DLG, 2020g; GFS, 2021). Nach 40.000 Narkosen oder spätestens alle zwei Jahre muss der PigletSnoozer durch den Hersteller gewartet werden (DLG, 2020g; GFS, 2021).

6.2.2. MS Pigsleeper Flexy

Das Narkosegerät MS Pigsleeper Flexy (Fa. MS Schippers GmbH, Kerken) wird im Folgenden MS Pigsleeper benannt. Es ist mit drei oder vier Narkosestationen erhältlich und wird mit Raumluft als Trägergas betrieben, indem das Narkosegas-Raumluft-Gemisch mittels eines Kompressors zu den Narkosemasken geleitet wird (DLG, 2020f; MS SCHIPPERS, 2020). Der MS Pigsleeper verfügt über keine Temperaturkompensation, sodass das Gerät nach Inbetriebnahme keine Aufheizzeit benötigt und nach wenigen Sekunden Selbsttest betriebsbereit ist (DLG, 2020f). Die zulässige Umgebungstemperatur bei Betrieb liegt zwischen 16 °C und 35 °C (DLG, 2020f; MS SCHIPPERS, 2020). Überschüssiges Narkosegasgemisch wird an der Rückseite der Narkosemasken und zusätzlich im Boden der Ferkelschalen am Maskenausgang in zwei parallele Aktivkohlefilter abgeführt (DLG, 2020f). Die Sättigungsgrenze der beiden Aktivkohlefilter ist bei 1300 Ferkelkastrationen erreicht, was durch einen Zähler im Display angezeigt wird (DLG, 2020f). Die Ferkel werden in Rückenlage in die Ferkelschale eingelegt und lösen durch Passieren eines Infrarotsensors den Narkosegasfluss aus (DLG, 2020f; MS SCHIPPERS, 2020). Die Einleitungszeit ist 70 Sekunden lang gefolgt von einer 15 Sekunden langen Kastrationszeit, in der weiterhin Narkosegasgemisch zu den Masken strömt (DLG, 2020f; MS SCHIPPERS, 2020). Während der Einleitungs- oder Kastrationszeit ist es möglich die Narkosedauer jeder einzelnen Station per Druck auf ein Feld im Display um je zehn Sekunden bis maximal 120 Sekunden Gesamtnarkosedauer zu verlängern (DLG, 2020f; MS SCHIPPERS, 2020). Nach Ablauf dieser Zeit strömt für 40 Sekunden Raumluft in die Masken und die Kastration sollte in dieser Zeit beendet werden (DLG, 2020f; MS SCHIPPERS, 2020). Das Gerät soll nach 25.000 Narkosen oder spätestens nach zwei Jahren durch den Herstellerservice gewartet werden (DLG, 2020f; MS SCHIPPERS, 2020).

6.2.3. PorcAnest 3000®

Das Gerät PorcAnest 3000® (Fa. Promatec Automation AG, Dornedingen, Schweiz) verfügt über drei Narkosestationen und wird mittels eines Kompressors mit Raumluft betrieben (DLG, 2020c). Die zulässige Umgebungstemperatur während des Betriebs liegt zwischen 5 °C und 30 °C, wobei das Gerät über eine integrierte Heizung am Verdampfer verfügt (DLG, 2020c). Überschüssiges Narkosegas wird an der Rückseite der einwandigen Narkosemasken in einen Aktivkohlefilter überführt (DLG, 2020c). Die Sättigung des Filters wird sensorisch überwacht und ein notwendiger Filterwechsel wird angezeigt (DLG, 2020c). Das flüssige Isofluran verbleibt in der Originalflasche, welche zur Kastration an den Verdampfer montiert und nach erfolgter Kastration sofort wieder entfernt wird, wodurch keine größere Menge an Isofluran im Verdampfer verbleibt (DLG, 2020c). Die aus Edelstahl gefertigten Ferkelschalen sind mit Schaumstoffeinlagen in drei Größen erhältlich (DLG, 2020c). Nach Inbetriebnahme des Gerätes dauert es je nach Umgebungstemperatur zwischen fünf und 20 Minuten bis das Gerät aufgeheizt und betriebsbereit ist (DLG, 2020c). Das Einlegen der Ferkel erfolgt bei diesem Gerät in Bauchlage, wobei die Ferkelschalen zur Kastration in Rückenlage gedreht werden können (DLG, 2020c). Der Narkosegasfluss wird mechanisch beim Einlegen des Ferkels und das Verschieben der Ferkelschale durch Druck auf einen Stempel über ein elektromagnetisches Ventil ausgelöst (DLG, 2020c). Nach Ablauf der 70 Sekunden langen Einleitungszeit strömt während der Kastration für 20 Sekunden weiterhin kontinuierlich das Isofluran-Luft-Gemisch in die Masken (DLG, 2020c). Nach Ablauf der gesamten 90 Sekunden wird der Gasstrom abgeschaltet und das Ferkel sollte entfernt werden (DLG, 2020c). Eine eventuell nötige Narkosegasverlängerung ist nur durch ein erneutes Einlegen und Auslösen eines neuen Narkosezykluses möglich.

III. MATERIAL UND METHODEN

1. Ziel der vorliegenden Studie

Ziel der Studie war die Untersuchung der Saugferkelkastration durch Landwirte und Landwirtinnen unter automatisierter Isoflurannarkose auf zwei Ferkelerzeugerbetrieben mit den Geräten PigletSnoozer (Fa. GFS Top-Animal-Service GmbH, Ascheberg), MS Pigsleeper (Fa. MS Schippers GmbH, Kerken) und PorcAnest 3000® (Fa. Promatec Automation AG, Dornedingen, Schweiz). Dabei standen eine für Ferkel und Anwender:innen sichere Kastrationsmethode mit ausreichender Narkosetiefe der Ferkel, geringen Narkosezwischenfällen und -verlusten sowie die Anwendersicherheit im Vordergrund. Durch vorhergehende Untersuchungen wurde gezeigt, dass die Narkosegeräte Schwachstellen hinsichtlich der Narkosetiefe und Anwendersicherheit haben können, weshalb der Schwerpunkt dieser Studie auf Optimierungen der automatisierten Isoflurannarkose lag. Das Vorgehen war, nach den ersten Kastrationsdurchgängen mögliche betriebsindividuelle Schwachstellen der automatisierten Isoflurannarkose mit den entsprechenden Geräten zu identifizieren und in den folgenden Durchgängen Optimierungsmaßnahmen einzuleiten und diese zu reevaluieren. Dazu wurden mögliche Einflüsse auf die Narkosetiefe und die Anwendersicherheit durch unterschiedliche Durchfluss- oder Ventilations-Einstellungen am Gerät, externe Wärmezufuhr am Verdampfer sowie Verlängerung der Narkoseeinleitungszeit überprüft. Des Weiteren wurden der Isofluranverbrauch, die Filtergewichtszunahme und die Arbeitszeit ermittelt. Zur Beurteilung der Isofluranexposition der Anwender:innen wurden Isofluranmessungen durch TÜV SÜD Industrie Service GmbH (Mannheim) durchgeführt. Zusätzlich wurden die Narkosemasken zu unterschiedlichen Zeitpunkten beprobt und mikrobiologisch untersucht.

2. Projektdurchführung

Die Durchführung dieses Teils der Studie fand im Zeitraum von Oktober 2021 bis Mai 2022 statt. Die Studie wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) übernahm die Projektträgerschaft im Rahmen des Bundesprogrammes Nutztierhaltung. Die Untersuchung wurde durch die interne Ethikkommission der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München genehmigt (AZ: 185-03-09-2019).

2.1. Studienbetriebe

Die Durchführung der Studie erfolgte auf zwei konventionellen Ferkelerzeugerbetrieben in Bayern mit einer Betriebsgröße von jeweils ca. 300 Sauen (Betrieb 1: Deutsches Edelschwein + Pietrain, Betrieb 2: Deutsche Landrasse + Pietrain).

Betrieb 1

Betrieb 1 ist in einem 3-Wochen-Rhythmus mit einer Säugezeit von 26 Tagen geführt, wodurch die Kastration der männlichen Saugferkel alle drei Wochen durchgeführt wird. Zwölf bis 24 Stunden nach der Geburt wurden alle Ferkel metaphylaktisch gegen Kokzidien behandelt (Toltrazuril 50,0 mg, Cevazuril® 50 mg/ml, Ceva Tiergesundheit GmbH, Düsseldorf). Ein Tag vor der Kastration wurde den Ferkeln Eisen in Form einer Injektionslösung intramuskulär (i. m.) verabreicht (Eisen(III)-Hydroxid-Dextran-Komplex, Uniferon® 200 mg/ml, Virbac Tierarzneimittel GmbH, Bad Oldesloe). Am Tag der Kastration wurde jedem Ferkel eine betriebsindividuelle Ohrmarke eingezogen.

Betrieb 2

Betrieb 2 hat einen geteilten 3-Wochen-Rhythmus, das heißt die Sauengruppe ist aufgeteilt und die Abferkelungen finden zwei Mal im Abstand von einer Woche statt, gefolgt von einer Woche ohne Abferkelungen (Abferkelschema 1-1-0). Alle Ferkel wurden am ersten

Lebenstag metaphylaktisch gegen Kokzidien behandelt (Toltrazuril, Baycox Multi® 50 mg/ml, Elanco Deutschland GmbH, Bad Homburg). Am dritten Lebenstag wurde den Ferkeln Eisen in Form einer Injektionslösung (Eisen(III)-hydroxid-Dextran-Glucoheptonsäure-Komplex, Ursoferran® 100 mg/ml, Serumwerk Bernburg AG, Bernburg) verabreicht. Am Kastrationstag wurden die Schwänze kupiert, wobei bei 1 % der Ferkel die Schwänze nicht gekürzt wurden als Kontrollgruppe für den Aktionsplan Kupierverzicht (LGL, 2021).

2.2. Saugferkelkastration unter automatisierter Isoflurannarkose

Die Kastration der männlichen Saugferkel erfolgte im Alter von zwei bis sieben Tagen und wurde von einem:einer sachkundigen Landwirt:in gemäß FerkBetSachkV durchgeführt. Vor der Kastration wurden die männlichen Ferkel auf Narkosefähigkeit und normalanatomische Lage und Beschaffenheit der Hoden überprüft. Nicht narkose- und kastrationsfähige Tiere wurden von der Kastration ausgeschlossen und den entsprechenden bestandsbetreuenden Tierärzten oder Tierärztinnen vorgestellt. Mindestens 30 Minuten vor Kastrationsbeginn erfolgte die Schmerzmittelapplikation der zu kastrierenden Ferkel (Meloxicam 0,4 mg/kg, Metacam® 5 mg/ml i. m., Boehringer Ingelheim Pharma GmbH & Co. KG, Ingelheim/Rhein). Als Narkosegas für die automatisierte Isoflurannarkose wurde Isofluran (Baxter vet, 1000 mg/g, Baxter Deutschland GmbH, Unterschleißheim) verwendet. Zur Kastration wurden die männlichen Ferkel wurfweise in Kisten zum Narkosegerät in den Stallgang transportiert. Vor Beginn der Kastration wurde erneut das Allgemeinbefinden und die normalanatomische Lage und Beschaffenheit der Hoden durch den:die Kastrateur:in kontrolliert. Die kastrierende Person legte die Ferkel in die Ferkelschalen vom Narkosegerät und überprüfte nach Ablauf der Einleitungszeit von 70 Sekunden den Zwischenklauenreflex (ZKR). Dabei komprimierte der:die Kastrateur:in mit den Fingernägeln den Interdigitalraum einer Vordergliedmaße mit festem, stets gleichem Druck. Bei negativem Ergebnis wurde mit der Kastration begonnen, bei positivem Ergebnis wurde die Einleitung verlängert so lange bis die Kontrolle des ZKR negativ war und daraufhin kastriert. Die Kastration erfolgte unbedeckt, das heißt es wurden mit einem Skalpell zwei

sagittale Inzisionen auf dem Hoden gesetzt und dabei Skrotum und die Hodenhüllen einschließlich dem *Processus vaginalis* eröffnet. Mit leichtem Druck wurden die Hoden vorverlagert und beide Hoden gleichzeitig mit einem Emaskulator (Emaskulator nach Haussmann, 19 cm, gebogen, Aesculap AG, Tuttlingen) abgesetzt. Daraufhin wurde das Ferkel sofort aus dem Gerät entnommen und die Kastrationswunde mit einem Wunddesinfektionsmittel desinfiziert. Auf Betrieb 1 wurde die Wunde mit einer mit Wasser verdünnten Iodlösung (eimü® Doppeldip, Arendicom GmbH, Tutzing) desinfiziert. Auf Betrieb 2 erfolgte die Wunddesinfektion mit einem antibiotischen Spray (Cyclo Spray®, 2,45 %, Dechra Veterinary Products Deutschland GmbH, Aulendorf). Danach wurden die Ferkel unter eine Wärmelampe in eine Kiste gelegt, bis sie wieder geh- und stehfähig waren. Dann brachte die transportierende Person die Ferkel wurfweise wieder zurück zur Muttersau.

2.3. Narkosegeräte

Wie im Kapitel II.6.2 erläutert, sind die automatisierten Narkosegeräte ähnlich aufgebaut und funktionieren nach dem gleichen Prinzip. Beim Einlegen der Tiere in die Narkosemaske wird der Narkosegaseinstrom von 5 Vol.-% Isofluran-Trärgas-Gemisch ausgelöst. Die Narkoseeinleitungszeit beträgt 70 Sekunden und kann nach positivem ZKR individuell und mehrmals durch Betätigen eines Schalters (PigletSnoozer und MS Pigsleeper) bzw. durch Entnehmen und erneutes Einlegen des Ferkels (PorcAnest 3000®) verlängert werden. Nach Ablauf der Einleitungszeit strömt während der Kastration für weitere 15 (PigletSnoozer, MS Pigsleeper) bzw. 20 Sekunden (PorcAnest 3000®) Narkosegasgemisch ein, bevor dann nur noch Trärgas einströmt und das Tier entnommen werden sollte. Durch einen Countdown und farbige Lichtkennzeichen oder durch schriftliche Hinweise im Display wird dem:der Kastrateur:in zu jeder belegten Position der Stand der Betäubung und der Kastrationsstart signalisiert.

Das Narkosegerät PigletSnoozer, welches in acht Durchgängen auf Betrieb 1 untersucht wurde, verfügt über vier Operationseinheiten und wird mit technischem Sauerstoff als Trärgas betrieben. In dieser Studie wurde

medizinischer Sauerstoff (Firma bluAqua Service GmbH und Co. KG, Essel) verwendet. Es ist mit einer Heizung zur Temperaturkompensation ausgestattet und sollte laut Hersteller bei einer Umgebungstemperatur zwischen 15 °C und 30 °C betrieben werden. Das Gerät verfügt neben einer Absaugung der Luft aus den Ferkelmasken über eine zusätzliche Absaugung innerhalb der Verdampfereinheit sowie in den Ferkelkisten. Da auf diesem Betrieb die Ferkelkiste nicht direkt am Gerät angebracht war, wurde der Schlauch für die Absaugung aus der Ferkelkiste verlängert und die Geschwindigkeit der Absaugung erhöht. Nach der Kastration verbleibt bei dem Narkosegerät PigletSnoozer das Isofluran im Verdampfer.

Auf Betrieb 2 wurde in 17 Durchgängen das Narkosegerät MS Pigsleeper sowie in zwei Durchgängen das Narkosegerät PorcAnest 3000® untersucht. Das Narkosegerät MS Pigsleeper verfügt über vier Operationseinheiten, wird mit Raumluft betrieben und besitzt keine integrierte Heizung an der Verdampfereinheit. Laut Herstellerangaben sollte die Umgebungstemperatur während des Betriebs zwischen 16 °C und 35 °C liegen. Nach der Kastration verbleibt das Isofluran beim MS Pigsleeper im Verdampfer. Das Narkosegerät PorcAnest 3000® ist mit drei Operationseinheiten und einer integrierten Heizung am Verdampfer ausgestattet. Eine eventuell nötige Narkosegasverlängerung ist bei diesem Gerät nur durch ein Entnehmen und erneutes Einlegen des Ferkels möglich. Beim PorcAnest 3000® wird das Isofluran nach der Kastration wieder aus dem Verdampfer entfernt und vor einer neuen Kastration wieder angeschlossen.

2.4. Evaluierung der automatisierten Isoflurannarkose

2.4.1. Erhobene Parameter

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die erhobenen Parameter pro Durchgang auf Betrieb 1. Die Narkose zur Kastration im siebten Durchgang erfolgte durch ein baugleiches PigletSnoozer-Ersatzgerät desselben Herstellers (Fa. GFS Top-Animal-Service GmbH, Ascheberg). Bei einzelnen Tieren konnte nicht in jedem Durchgang jeder Parameter erhoben werden.

Tabelle 1: Anzahl der Ferkel und erhobene Parameter (x) in den Durchgängen 1-8 auf Betrieb 1.

Betrieb		1							
Gerät		PSn						PSn*	PSn
Durchgang		1	2	3	4	5	6	7	8
Anzahl Ferkel		242	244	238	253	233	282	249	261
Datenerhebung durch KfS	968	x	x			x		x	
Datenerhebung durch LW	1034			x	x		x		x
Ferkelalter	768				x	x	x		
Abwehrscore	1880	x	x	x	x	x	x	x	x
Zwischenfälle/Verluste	2002	x	x	x	x	x	x	x	x
Isofluranverbrauch	1753	x	x	x	x	x	x		x
Filtergewichtszunahme	1514	x	x		x	x	x		x
Zeiterfassung	1262	x	x			x	x		x
Messung Isofluranexposition	726		x			x		x	
Beprobung Narkosemasken	719	x	x			x			

PSn = PigletSnoozer; PSn* = PigletSnoozer-Ersatzgerät; KfS = Klinik für Schweine; LW = Landwirt:in

Eine Übersicht über die erhobenen Parameter pro Durchgang auf Betrieb 2 bietet Tabelle 2. Es konnte nicht in jedem Durchgang bei allen kastrierten Tieren jeder Parameter erhoben werden.

Tabelle 2: Anzahl der Ferkel und erhobene Parameter (x) in den Durchgängen 1-19 auf Betrieb 2.

Betrieb		2																		
Gerät		MS Pigsleeper																	PA	
Durchgang		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Anzahl Ferkel		77	86	66	123	86	79	74	92	89	86	73	81	80	65	86	66	69	104	105
Datenerhebung durch KfS	1220	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x		x		
Datenerhebung durch LW	367								x								x		x	x
Ferkelalter	1348	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Abwehrscore	1456		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Narkosewischenfälle/Verluste	1587	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Isofluranverbrauch/Filterzunahme	1587	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zeiterfassung	1155	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x		x		
Messung Isofluranexposition	278				x						x								x	
Beprobung Narkosemasken	252	x				x				x										
Parität/Genetik	1252		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

PA = PorcAnest 3000[®]; KfS = Klinik für Schweine; LW = Landwirt:in

2.4.2. Narkosetiefe

Zur Erhebung der Abwehrbewegungen der Ferkel während der Kastration wurden die Ferkel mit einer Kamera (Victure AC 420 Action Cam., Guangdong, China), welche stationär auf dem Gerät platziert wurde, gefilmt (siehe Abbildung 2). Die Auswertung der Videos und Bewertung der Abwehrbewegungen erfolgte immer durch dieselbe Person anhand eines modifizierten Abwehrscores basierend auf Daten von HÄRTEL et al. (2021). In Tabelle 3 ist der Abwehrscore dargestellt. Dabei wurden Anzahl und Intensität der Abwehrbewegungen während des Kastrationsprozesses (beginnend mit der Inzision des Skrotums über die Vorverlagerung beider Hoden bis zum Durchtrennen der Samenstränge) erfasst. Die Vokalisation

wurde bei der Bewertung des Abwehrscores nicht beachtet, da die Kamera über keine Tonaufnahmefunktion verfügt. Außerdem wurde beim Abwehrscore nicht berücksichtigt, ob die Einleitungszeit nach positivem ZKR individuell verlängert wurde. Zusätzlich wurde bei jedem Ferkel notiert auf welcher Position im Narkosegerät sich das Ferkel befand und wie viele Ferkel zum Zeitpunkt der Kastration eingespannt waren. Auf Betrieb 2 wurde zusätzlich die jeweilige Optimierungsmaßnahme erfasst sowie weitere Einflüsse auf die Narkosetiefe wie Alter der Ferkel (in Tagen), Parität der Sau (1, 2-4, > 4) und Kreuzung der Ferkel untersucht (siehe Tabelle 2). Folgende Elterntierrassen wurden unterschieden: Deutsche Landrasse (DL), Deutsches Edelschwein (DE), Pietrain (Pi), Dänische Landrasse (DänL).

Tabelle 3: Modifizierter Abwehrscore basierend auf Daten von HÄRTEL et al. (2021).

Score	Abwehrbewegungen
0	keine Abwehrbewegung
1	1 kurze Abwehrbewegung einer Gliedmaße
2	2 kurze Abwehrbewegungen
3	3-4 kurze Abwehrbewegungen oder 1 langanhaltende Abwehrbewegung
4	> 4 kurze oder > 1 langanhaltende Abwehrbewegung



Abbildung 2: Foto von den vier Kastrationsmasken des MS Pigsleeper und der zentral positionierten Kamera zur Aufnahme des Kastrationsprozesses.

2.4.3. Narkosezwischenfälle und Verluste

Auf beiden Betrieben wurden in allen Durchgängen Narkosezwischenfälle wie Schnappatmung, Apnoe, Apnoe und Herzstillstand sowie die Art der Wiederbelebensmaßnahme für jedes Ferkel individuell gemäß § 8 FerkBetSachkV dokumentiert. Bei Zwischenfällen während der Narkose wurde das entsprechende Ferkel sofort aus dem Gerät genommen und von der Narkosegaszufuhr getrennt und je nach Zwischenfall ein Schwenken, ein Kaltwasserguss und je nach Notwendigkeit eine Herzdruckmassage durchgeführt. Außerdem wurden Verluste während der Kastration und bis 24 Stunden nach der Kastration erfasst.

2.4.4. Isofluranverbrauch und Filtergewichtszunahme

Der Isofluranverbrauch wurde pro Durchgang ermittelt, indem der Durchgang mit einem vollen Verdampfer startete und entsprechend nach jedem Kastrationsdurchgang vollgefüllt wurde. Durch Ermittlung des Gewichtes der Isofluranflasche (in Gramm) vor und nach dem Einfüllen und Berechnung der Differenz wurde der Verbrauch des Kastrationsdurchganges ermittelt. Der Isofluranverbrauch wird in dieser Untersuchung in ml/Ferkel angegeben. Dabei wurde der Isofluranverbrauch (in Milliliter) anhand des spezifischen Gewichtes von Isofluran (1,49 g/ml) berechnet (KUHN et al., 1995). Allerdings wurde zunächst auf Betrieb 2 in den Durchgängen 1 bis 6 nur dann Isofluran nachgefüllt, wenn das Gerät es vorgab und der dazugehörige Ferkelzählerstand notiert. Dabei zeigte sich, dass diese Art der Messung zu ungenau ist und somit wurde die zuerst beschriebene Vorgehensweise übernommen. Zusätzlich wurden auf Betrieb 2 ab dem elften Durchgang Narkosegasverluste während der Lagerung aufgrund des stechenden Geruchs von dem:der Anwender:in bemerkt, sodass die Messung des Isofluranverbrauchs ein zweites Mal angepasst wurde, indem sowohl vor der Kastration als auch nach der Kastration der Verdampfer vollgefüllt wurde und jeweils das nachgefüllte Volumen anhand des veränderten Gewichtes der Isofluranflasche bestimmt wurde. Somit wurde ab diesem Durchgang sowohl der Narkosegasverlust während der Lagerung als auch der eigentliche Isofluranverbrauch während der Kastration erfasst. Das Gewicht der Aktivkohlefilter wurde ebenso vor und nach der Kastration

erhoben, woraus sich die Filtergewichtszunahme pro Durchgang ergibt. Der prozentuale Anteil von Isofluran im Aktivkohlefilter wurde berechnet, indem die Filtergewichtszunahme in g/Ferkel je Durchgang durch den Isofluranverbrauch in g/Ferkel je Durchgang dividiert wurde.

2.4.5. Arbeitszeit

Um den Zeitaufwand für die einzelnen Tätigkeiten im Rahmen der Kastration zu erfassen, wurde auf Betrieb 1 in den Durchgängen 1, 2, 5 und 6 und auf Betrieb 2 in allen Durchgängen außer den Durchgängen 8, 14, 16, 18, und 19 die Zeit für sämtliche Arbeitsschritte in Minuten erfasst. Dabei wurden folgende Tätigkeiten unterschieden: Vorbereitung des Materials, Aufbau des Gerätes, Applikation eines Nichtsteroidalen Antiphlogistikums (NSAID), Kastration, Reinigung und Desinfektion des Gerätes und der Materialien sowie Abbau des Gerätes. Zusätzliche Verzögerungen während einzelner Tätigkeiten wurden jeweils abgezogen. In Abbildung 3 ist der zeitliche Ablauf der einzelnen Arbeitsschritte dargestellt. Des Weiteren wurde die Personenzahl pro Tätigkeit notiert. In die Zeit der Vorbereitung sind das Bereitstellen von Injektoren, Kanülen, Analgetikum und sonstiger Materialien für weitere zootechnische Maßnahmen während der Applikation des Analgetikums eingerechnet. Im Arbeitsschritt der Applikation des NSAIDs sind neben Markierung, Untersuchung der Tiere auf Narkose- und Kastrationsfähigkeit und Schmerzmittelapplikation der zu kastrierenden Ferkel auch weitere zootechnische Maßnahmen inkludiert (Betrieb 1: Ohrmarken einziehen; Betrieb 2: Schwänze kupieren). Die Kastrationszeit begann mit dem Einlegen des ersten Ferkels in das Narkosegerät und endete mit der Entnahme des letzten Ferkels aus dem Gerät. Die Kastrationsdauer wurde dann durch die entsprechende Anzahl an kastrierten Ferkeln pro Durchgang dividiert und mit der Zahl der beteiligten Personen multipliziert.

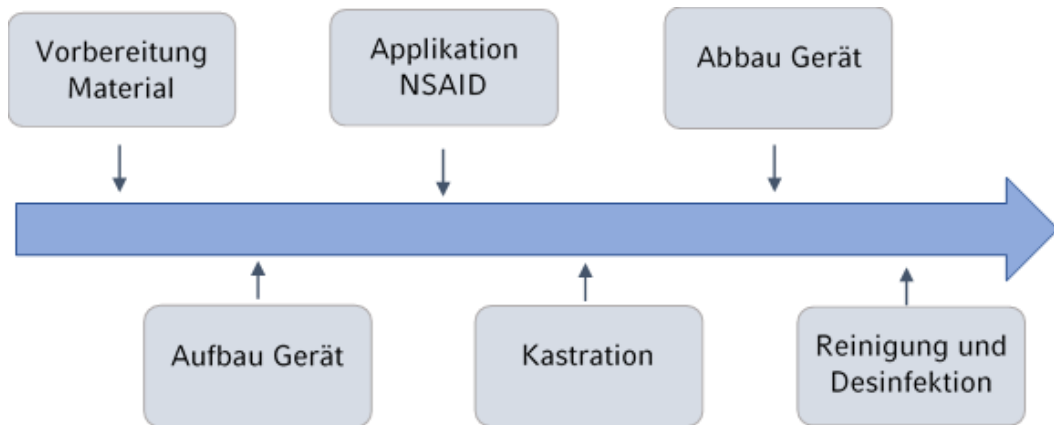


Abbildung 3: Zeitstrahl für die einzelnen Arbeitsschritte im Rahmen der Kastration unter automatisierter Isoflurannarkose.

2.4.6. Isoflurankonzentration am Arbeitsplatz

Die Messung der Isoflurankonzentration in der Umgebungsluft am Ort der Kastration und der Einatemluft der beteiligten Personen wurde von der TÜV SÜD Industrie Service GmbH (Mannheim) durchgeführt. Die Probennahme und Analyse erfolgten entsprechend dem IFA-Verfahren Nr. 7673 (10/2004). Als Bewertungsmaßstab galt der weltweit am niedrigsten geltende Arbeitsplatzgrenzwert von 15 mg/m^3 (Kanada, Israel), welcher sich auf eine tägliche Belastung an einem achtstündigen Arbeitstag in einer 40-Stunden Arbeitswoche bezieht. Die Messungen wurden pro Betrieb (Betrieb 1: PigletSnoozer, Betrieb 2: MS Pigsleeper) in drei unterschiedlichen Durchgängen durchgeführt und begannen mit dem Einlegen des ersten Ferkels in das Narkosegerät und endeten, nachdem das letzte Ferkel kastriert und aus der Aufwachbox entfernt wurde. Die Erhebung der Isoflurankonzentration wurde an fünf definierten Messstellen durchgeführt: im Bereich der Atemluft der kastrierenden Person und der Person, die die Ferkel transportierte, zwischen den Narkosemasken, am Aktivkohlefilter und in der Aufwachbox. Auf Betrieb 1 wurde zwischen zwei gegenüberliegenden Abteilen mit geöffneten Abteiltüren kastriert, um für eine verbesserte Durchlüftung zu sorgen. Ab dem zweiten Messtermin wurden hier zusätzlich die zwei Stalltüren zum Zentralgang geöffnet. Bei Betrieb 2 wurden während der Kastration die Stallfenster zum Stallgang gekippt, um für eine vermehrte Durchlüftung während der Kastration auf dem Stallgang zu sorgen.

2.4.7. Mikrobiologische Untersuchungen der Narkosemasken

Pro Betrieb wurde an je drei Durchgängen immer die gleiche Ferkelmaske vor und nach der Narkose jeweils vor und nach Reinigung und Desinfektion (R+D) mikrobiologisch untersucht. Die Position der Maske im Gerät war zufällig. Die Reinigung und Desinfektion der Maske sowie die Beprobung wurde durch dieselbe Person anhand einer vordefinierten Methodik analog der Studie von HÄRTEL et al. (2021) durchgeführt. Die beprobte Maske wurde auf Betrieb 1 in einem separaten Zip-Beutel gelagert, auf Betrieb 2 unverpackt mit den anderen Masken zusammen am Gerät. Die erste Beprobung fand nach der Lagerung vor der Kastration statt, die zweite Beprobung nach Reinigung und Desinfektion vor der Kastration. Ebenso wurde diese Maske direkt nach der Kastration beprobt, sowie nach einer anschließenden Reinigung und Desinfektion. Abbildung 5 stellt die einzelnen Beprobungszeitpunkte dar.

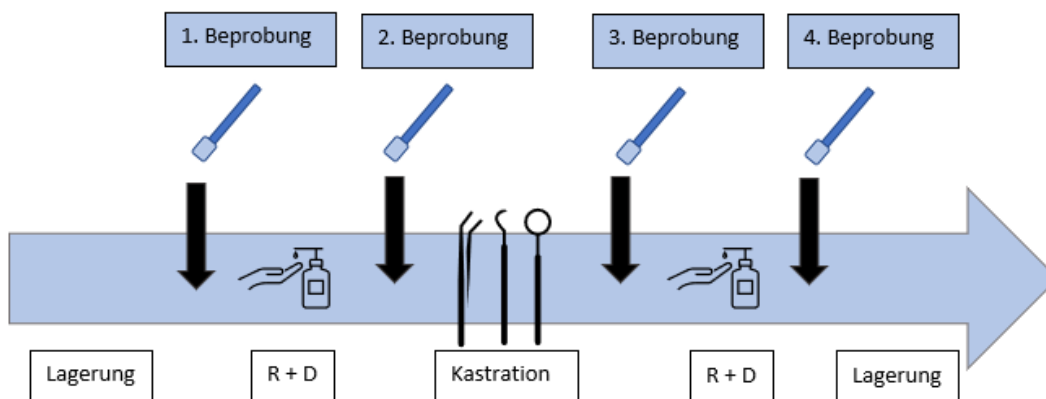


Abbildung 5: Graphische Darstellung der einzelnen Beprobungszeitpunkte.

Die Reinigung erfolgte mit Leitungswasser und Flüssigseife und die Trocknung mit einem sterilen Gazetupfer. Anschließend wurde diese Maske mit einem Desinfektionsspray (Meliseptol®, Henry Schein Dental Austria GmbH, Wien) desinfiziert und an der Luft getrocknet. Bei jeder Beprobung wurde die Maskeninnenseite mit einem sterilen, mit Natriumchlorid durchnässtem Tupfer (Polyurethan-/Schaumstoff Tupfer, pure11 GmbH, Grünwald) und anschließend mit einem trockenen Tupfer von derselben Person beprobt. Die beiden Probentupfer wurden in ein steriles Zentrifugenröhrchen mit 10 ml PBS + 0,01 % Tween 20 überführt und per Express-Versand gekühlt an das Labor des Institutes für

Tierschutz, Tierhygiene und Nutztierethologie der Tierärztlichen Hochschule Hannover geschickt, wo die Proben analog zur Untersuchung von HÄRTEL et al. (2021) bearbeitet wurden. Am Folgetag nach Eingang im Labor wurden die Proben 60 Sekunden bei maximaler Geschwindigkeit in einem Vortexmischer (uniTexer1, LLG Labware, Meckenheim) durchmischt. Um die Gesamtkeimzahlen (GKZ) mesophiler Bakterien zu bestimmen wurden Verdünnungsreihen angefertigt und je 0,1 ml auf je drei Blutbasis-No.2-Agarplatten ausgestrichen, welche anschließend für 48 Stunden bei 36 °C aerob bebrütet und ausgezählt wurden. Nach einer Voranreicherung erfolgte der qualitative Nachweis von *E. coli* und MRSA. Zusätzlich wurden die MRSA-Isolate mit einer Real-Time-PCR QuickBlue RealQuick QB-RTi-39 (Q-Bioanalytic GmbH, Bremerhaven) bestätigt.

2.4.8. Optimierungsmaßnahmen

Mit dem Vorwissen aus den vorhergehenden Untersuchungen dieses Projektes von HÄRTEL et al. (2021) und WINNER et al. (2022) war das Ziel in dieser Studie den Fokus auf bekannte Schwachstellen bei der Saugferkelkastration unter automatisierter Isoflurannarkose zu legen und diese zu verbessern. Optimierungen von aufgetretenen Problemen aus den Studien von HÄRTEL et al. (2021) und WINNER et al. (2022) wurden von Beginn an in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt und übernommen, wie zum Beispiel die Aufwachphase der Ferkel bei der Sau und nicht am Stallgang, sobald die Tiere wieder geh- und stehfähig waren und auch eine stärkere Durchlüftung am Ort der Kastration. Auf beiden Betrieben sollten im ersten Drittel der Durchgänge Schwachstellen identifiziert und in den folgenden Durchgängen gezielt optimiert werden. Aufgrund schwerwiegender technischer Schwierigkeiten mit dem Narkosegerät PigletSnoozer auf Betrieb 1 und keiner Lösung des technischen Problems trotz mehrmaliger Konsultation und Reparatur durch den Hersteller konnten auf Betrieb 1 keine gezielten Optimierungsmaßnahmen durchgeführt werden. In Tabelle 4 ist eine Übersicht über die erfolgten Optimierungsmaßnahmen auf Betrieb 2 dargestellt. Die einzelnen Optimierungsmaßnahmen auf Betrieb 2 sind mit arabischen Zahlen gekennzeichnet und werden in dieser Studie weiterhin mit arabischen Zahlen abgekürzt. Alle Optimierungsmaßnahmen hatten

eine verbesserte Narkosetiefe und eine höhere Anwendersicherheit im Hinblick auf die Isofluranexposition am Arbeitsplatz als Ziel.

Tabelle 4: Optimierungsmaßnahmen und Anzahl der Durchgänge und Ferkelzahl.

Optimierung	Maßnahme	DG	n
0	keine Veränderung	6	517
1	Ventilatorgeschwindigkeit verringert	2	166
2	externe Wärmezufuhr	3	248
3	Ventilatorgeschwindigkeit erhöht	3	226
4	Einleitungszeit verlängert	3	221

DG = Durchgang; n = Ferkelzahl

Als erste Optimierung wurde die Ventilatorgeschwindigkeit (Zuluft und Absaugung) von 30 % auf 20 % verringert, um eine bessere Narkosetiefe der Ferkel und einen geringeren Isofluranverbrauch zu erreichen. Laut Herstellerangaben für das Gerät MS Pigsleeper beträgt der optimale Temperaturbereich während des Betriebs 16-35 °C. Um dies sicherzustellen, wurde während den Optimierungsmaßnahmen 2-4 externe Wärme am Verdampfer zugeführt, da die Untersuchung im Winter bei kälteren Außentemperaturen stattfand. Dazu wurde ein Heizlüfter 30 Minuten vor Beginn der Kastration bis Kastrationsende vor der Steuereinheit platziert, sodass die permanent gemessene Temperatur am Verdampfer zwischen 33-35 °C betrug (siehe Abbildung 6). Die Erhöhung der Ventilatorgeschwindigkeit von 20 % auf 35 % inklusive der Wärmequelle während der dritten Optimierungsmaßnahme hatte neben einer Verbesserung der Narkosetiefe auch eine Reduktion der Isoflurankonzentration am Kastrationsort als Ziel. Bei der Verlängerung der Einleitungszeit in Optimierung 4 ist für 90 Sekunden kontinuierlich Isofluran bei gleichem Volumenstrom von 5 % zugeströmt. Nach Ablauf der 90 Sekunden Einleitungsphase ist nur noch Raumluft in die Masken geströmt und es konnte nach negativem ZKR kastriert werden. Für eine objektivere Beurteilung der verlängerten Einleitungszeit wurde zusätzlich das Narkosegerät PorcAnest 3000® auf Betrieb 2 in zwei Kastrationsdurchgängen (DG 18+19) mit einer verlängerten Narkoseeinleitung von 90 Sekunden anstelle von 70 Sekunden untersucht.



Abbildung 6: Heizlüfter vor der Verdampfereinheit des Narkosegerätes MS Pigsleeper als externe Wärmequelle.

3. Statistische Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels der Programme Microsoft Excel® 2019 (Fa. Microsoft, Redmond, USA), IBM SPSS® Statistics Version 29.0 (Fa. IBM Corp. Armonk, USA). Mithilfe der Programmiersprache R (Version 4.2.2; R Core Team, 2022) wurden zusätzlich Einflüsse, wie das Alter, die Position im Narkosegerät, der Durchgang, die Anzahl der belegten Positionen während der Kastration, die Optimierungsmaßnahme, die Parität und die Kreuzung auf den Anteil der Ferkel mit einer ausreichenden Narkosetiefe (Abwehrscore ≤ 1) analysiert und graphisch dargestellt. Die Daten zu Abwehrbewegungen, Narkosezwischenfällen, Ferkelverlusten, Isofluranverbrauch, Filtergewichtszunahme, Arbeitszeit, Isofluranexposition und Gesamtkeimzahlen wurden deskriptiv ausgewertet und mit Ausnahme der Zwischenfälle und Verluste als Mittelwert mit Standardabweichung angegeben. Die Parameter Alter, Position im Narkosegerät, Durchgang, Anzahl belegter Positionen während der Kastration, die Optimierungsmaßnahme, die Parität und die Kreuzung wurden graphisch (Histogramm, Q-Q-Plot) und mittels Shapiro-Wilk-Test sowie Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung getestet. Keiner dieser Parameter ist normalverteilt. Das Signifikanzniveau lag bei 5 % ($p \leq 0,05$). Mit einem binominalen logistischen Regressionsmodell

wurden die Einflüsse der Parameter Alter, Position im Narkosegerät, Durchgang, Anzahl belegter Positionen während der Kastration, die Optimierungsmaßnahme, die Parität und die Kreuzung auf das Vorkommen einer ausreichenden Narkosetiefe (Abwehrscore ≤ 1) berechnet.

IV. ERGEBNISSE

1. Studienpopulation

Insgesamt gingen 3589 Ferkel aus beiden Betrieben in die Auswertung ein, davon 2002 Tiere aus acht Durchgängen von Betrieb 1 (PigletSnoozer) und 1587 Ferkel aus 19 Durchgängen von Betrieb 2 (MS Pigsleeper: 17 DG, $n = 1378$; PorcAnest 3000®: 2 DG, $n = 209$). Diese wurden mittels Inhalationsanästhesie durch Isofluran betäubt und durch die beteiligten Landwirte und Landwirtinnen kastriert. Auf Betrieb 1 wurde mit dem Narkosegerät PigletSnoozer anästhesiert und es wurden durchschnittlich 249,3 ($\pm 15,9$) kastrierte Ferkel aus 42,3 ($\pm 2,6$) Würfen pro Durchgang ausgewertet. Auf Betrieb 2 wurde zur Ferkelbetäubung das Narkosegerät MS Pigsleeper verwendet und es wurden durchschnittlich 83,4 ($\pm 14,9$) Ferkel aus 15,7 ($\pm 2,3$) Würfen pro Durchgang kastriert. In zwei Durchgängen wurde auf Betrieb 2 das Gerät PorcAnest 3000® untersucht. Dabei wurden im Mittel 104,5 ($\pm 0,5$) Ferkel aus 17,0 ($\pm 1,0$) Würfen pro Durchgang ausgewertet. Das durchschnittliche Alter der Ferkel von beiden Betrieben am Tag der Kastration betrug 4,36 ($\pm 1,02$) Tage ($n = 2116$), welches in Abbildung 7 dargestellt ist.

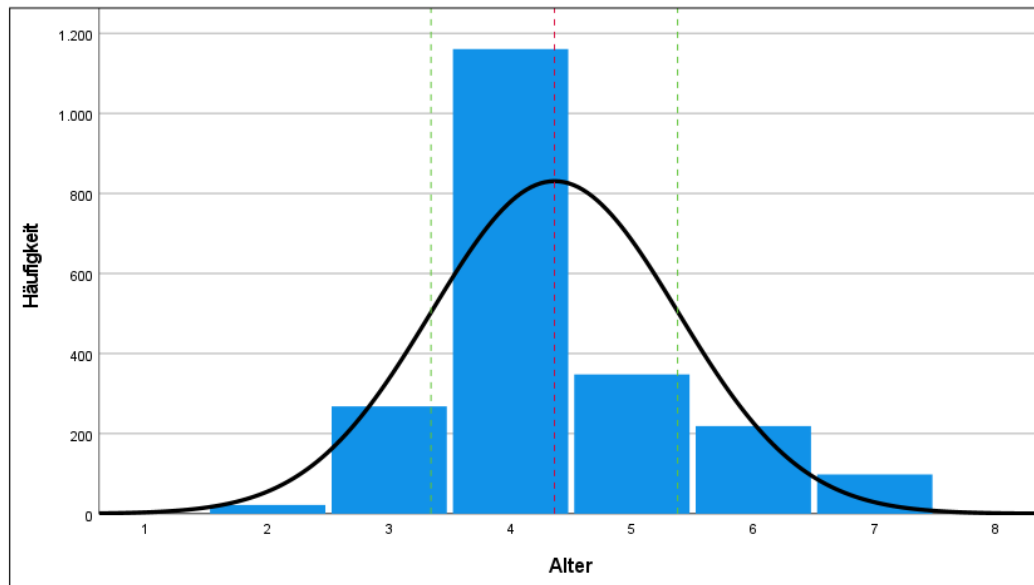


Abbildung 7: Verteilung des Lebensalters in Tagen der männlichen kastrierten Ferkel (n = 2116) am Tag der Kastration; rot gestrichelte Linie: Mittelwert; grün gestrichelte Linie: Standardabweichung, schwarze Linie: Normalverteilungskurve.

2. Gerätefunktion

Betrieb 1 (PigletSnoozer)

Aufgrund technischer Probleme wurden zwei Durchgänge von Beginn an abgebrochen und nicht in die Datenauswertung aufgenommen. Bei den Störungen floss ohne Fehlermeldung seitens des Gerätes kein Isofluran-Sauerstoff-Gemisch zu den Masken. Am sechsten Durchgang wurden ein Missverhältnis der Zuluft und Absaugung und Undichtigkeiten an einer Narkosemaske, an einem Schlauch für die Absaugung und am Aktivkohlefilter von Techniker:innen identifiziert und korrigiert. Aufgrund eines technischen Defekts des Gerätes erfolgte die Narkose zur Kastration im siebten Durchgang durch ein baugleiches PigletSnoozer-Ersatzgerät desselben Herstellers (Fa. GFS Top-Animal-Service GmbH, Ascheberg). Eine endgültige Lösung des Problems dieses Narkosegerätes war trotz mehrfacher Konsultation von Techniker:innen nicht möglich.

Betrieb 2 (MS Pigsleeper und PorcAnest 3000®)

Auf Betrieb 2 konnten alle Kastrationsdurchgänge ausgewertet werden. Trotz Überprüfung des MS Pigsleeper durch den Herstellerservice wurden Isofluranverluste aus dem Verdampfer während der Standzeit detektiert. An einem Infrarotsensor des MS Pigsleeper wurde eine schadhafte elektrische Kontaktverbindung festgestellt und korrigiert.

3. Narkosetiefe

In der Beschreibung der Ergebnisse wird der Anteil an Ferkeln, die mit den Abwehrscores 0 (keine Reaktion) und 1 (eine kurze Reaktion einer Gliedmaße) bewertet wurden, zusammengefasst. Ferkel, die mit dem Abwehrscore 1 beurteilt wurden, waren bewusstlos und zeigten nur eine kurze, nicht reproduzierbare Reaktion einer Gliedmaße, obwohl der Schmerzreiz anhielt. Der Betäubungserfolg von Ferkel, die in diese beiden Abwehrscores (Abwehrscore ≤ 1) kategorisiert wurden, wurde deshalb als ausreichende Narkosetiefe interpretiert und in der vorliegenden Arbeit als solche bezeichnet.

3.1. Ergebnisse der Narkosetiefe

Betrieb 1 (PigletSnoozer)

Es konnte der Abwehrscore von 1880 Ferkeln aus acht Durchgängen während der Kastration ermittelt werden. Der durchschnittliche Abwehrscore ≤ 1 lag bei $79,2 \pm 11,3$ %. In Abbildung 8 ist der Anteil der Ferkel mit Abwehrscore ≤ 1 pro Durchgang dargestellt. Im siebten Durchgang erfolgten die Narkosen durch ein baugleiches PigletSnoozer-Ersatzgerät desselben Herstellers (Fa. GFS Top-Animal-Service GmbH, Ascheberg). Die Umgebungstemperatur am Ort der Kastration betrug im Durchschnitt $18,4$ °C.

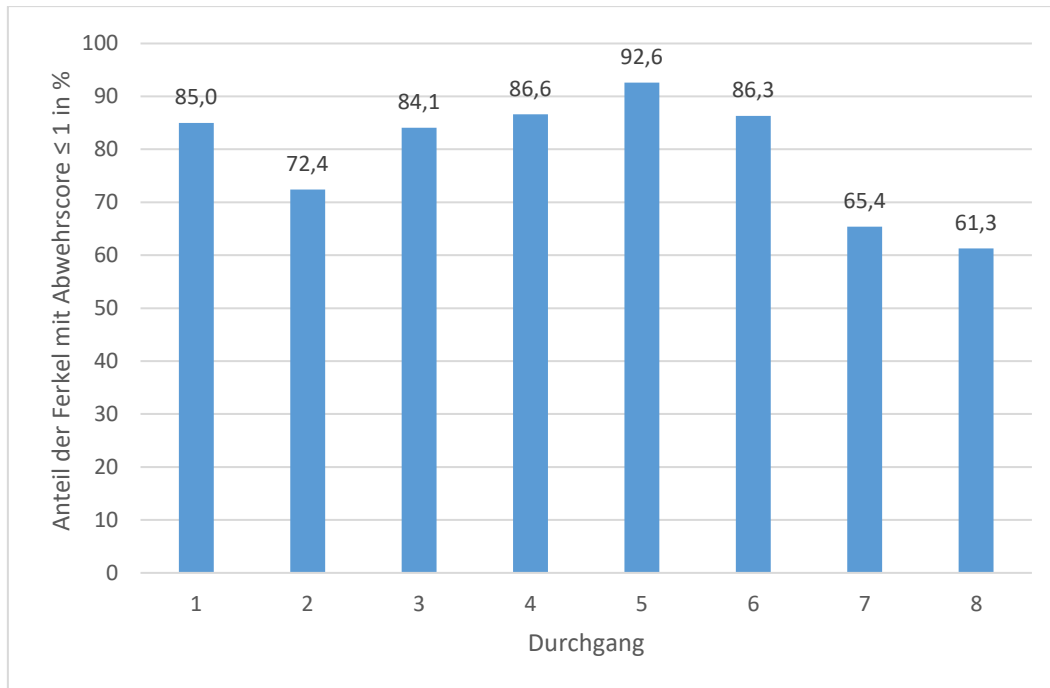


Abbildung 8: Anteil der Ferkel mit Abwehrscore ≤ 1 in Prozent aufgeteilt pro Durchgang auf Betrieb 1 mit dem Gerät PigletSnoozer.

Betrieb 2 (MS Pigsleeper und PorcAnest 3000®)

Bei 1456 Ferkeln aus 19 Durchgängen wurde ein Abwehrscore während der Kastration erhoben.

Bei den Kastrationen mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper lag vor Einleitung von Optimierungsmaßnahmen der Abwehrscore ≤ 1 bei durchschnittlich $81,6 \pm 4,3$ % ($n = 486$, 6 DG). Nach Etablierung der 1. Optimierungsmaßnahme betrug der Anteil an Ferkeln mit Abwehrscore ≤ 1 durchschnittlich $86,0 \pm 1,7$ % ($n = 162$, 2 DG). Vor Einführung der externen Wärmequelle betrug die Umgebungstemperatur am Gerät durchschnittlich $12,2$ °C, ab der 2. Optimierungsmaßnahme lag die Temperatur am Gerät (Verdampfer) zwischen $33,0$ °C und $35,0$ °C. Während der 2. Optimierungsmaßnahme lag der Abwehrscore ≤ 1 bei durchschnittlich $89,0 \pm 2,4$ % ($n = 248$, 3 DG). Bei der 3. Optimierungsmaßnahme wurde ein durchschnittlicher Anteil von $82,7 \pm 2,6$ % ($n = 215$, 3 DG) mit Abwehrscore ≤ 1 erreicht. Die 4. Optimierungsmaßnahme erzielte bei durchschnittlich $93,6 \pm 1,8$ % der Ferkel einen Abwehrscore ≤ 1 ($n = 217$, 3 DG). Die Ergebnisse des

Abwehrscores ≤ 1 aufgeteilt nach Optimierungsmaßnahmen (siehe III.2.4.8) sind in der Abbildung 9 dargestellt.

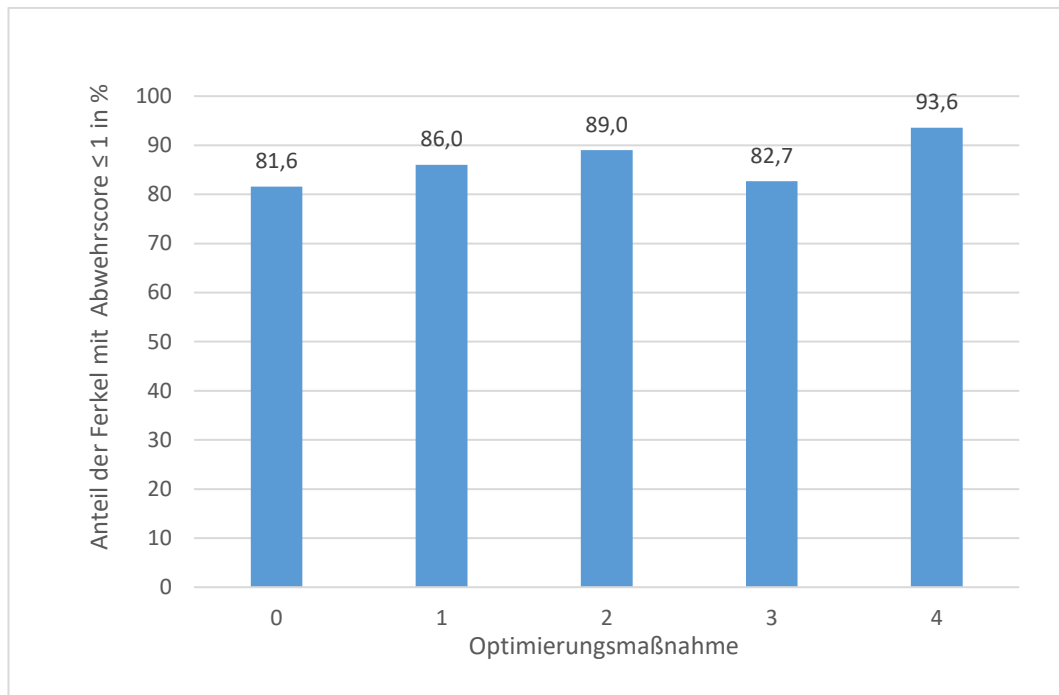


Abbildung 9: Anteil der Ferkel mit Abwehrscore ≤ 1 in Prozent aufgeteilt nach Optimierungsmaßnahmen auf Betrieb 2 mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper.

In den Durchgängen 18 und 19 wurde das Narkosegerät PorcAnest 3000® mit einer Einleitungszeit von 90 Sekunden, anstelle einer Einleitungszeit von 70 Sekunden untersucht. Dabei lag der Anteil an Ferkeln mit Abwehrscore ≤ 1 bei durchschnittlich $92,7 \pm 0,5$ % ($n = 205$, 2 DG).

3.2. Einflüsse auf die Narkosetiefe

Das Alter der Ferkel am Tag der Kastration hatte auf Betrieb 1 und 2 keinen signifikanten Einfluss auf den Anteil der Ferkel mit einer ausreichenden Narkosetiefe ($p > 0,05$) (siehe Abbildung 10).

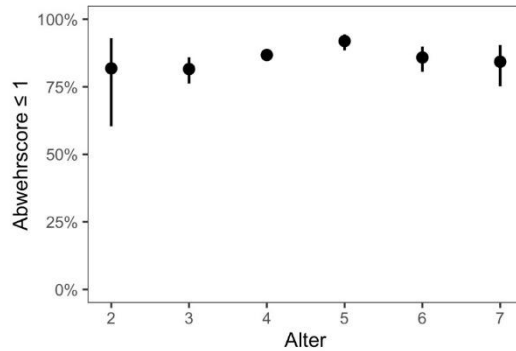


Abbildung 10: Geplottete Vorhersage des Einflusses von Alter zum Anteil der Tiere mit Abwehrrscore ≤ 1 auf Betrieb 1 und 2.

Die Position des Ferkels am Gerät während der Kastration beeinflusste die Anzahl der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe auf Betrieb 1 nicht signifikant ($p > 0,05$). Auf Betrieb 1 bestanden zwischen den Durchgängen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) bezüglich des Anteils der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe. Der siebte Durchgang (Betäubung mit einem PigletSnoozer-Ersatzgerät) wurde von der statistischen Auswertung ausgeschlossen. Die statistische Auswertung der untersuchten Einflüsse auf den Anteil der Tiere mit ausreichender Narkosetiefe auf Betrieb 1 ist in Abbildung 11 dargestellt.

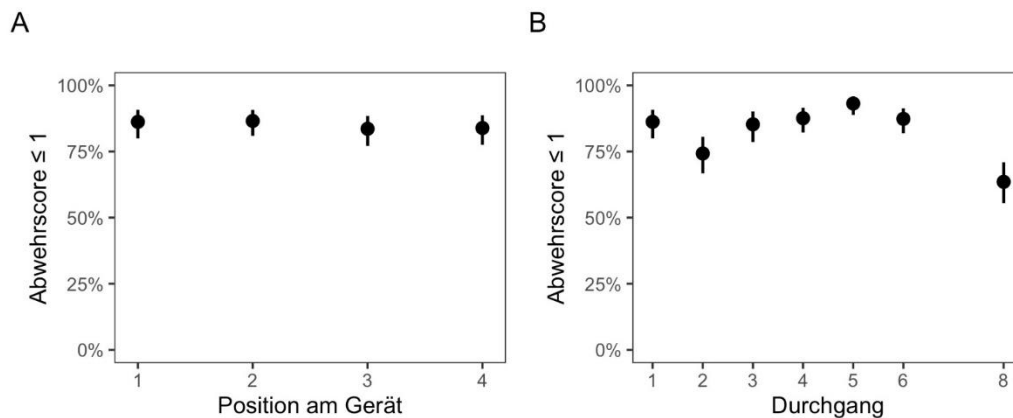


Abbildung 11: Geplottete Vorhersage des Einflusses von (A) Position am Gerät und (B) Durchgang zum Anteil der Tiere mit Abwehrrscore ≤ 1 auf Betrieb 1.

Auf Betrieb 2 hatte die Optimierung 4 (verlängerte Einleitungszeit) einen signifikanten Einfluss auf den Anteil der Ferkel mit einer ausreichenden Narkosetiefe im Vergleich zu den Ausgangswerten vor den Optimierungen ($p < 0,001$) und zu den Ergebnissen in Optimierung 3 (Erhöhung der Ventilatorgeschwindigkeit) ($p = 0,001$). Auch wenn die Optimierungsmaßnahmen 1 und 2 den Anteil von ausreichend narkotisierten Ferkeln verglichen zu den Ergebnissen vor den Optimierungen erhöhten, war dieser Einfluss nicht signifikant ($p > 0,05$). Die Anzahl der belegten Positionen während der Kastration beeinflusste den Anteil der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe nicht signifikant ($p > 0,05$). Die Parität der Sau (1, 2-4, > 4) und die Kreuzung der Ferkel hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Narkosetiefe ($p > 0,05$). In Abbildung 12 sind die untersuchten Einflüsse auf den Anteil der Tiere mit ausreichender Narkosetiefe auf Betrieb 2 dargestellt.

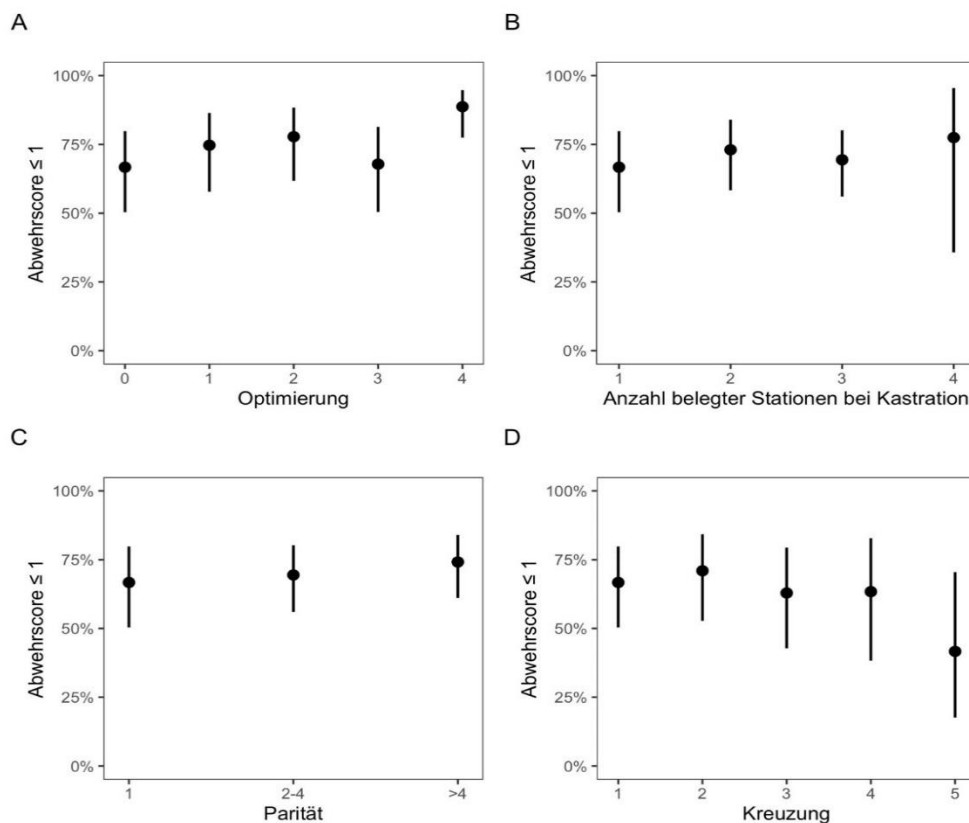


Abbildung 12: Geplottete Vorhersage des Einflusses (A) der Optimierung (0-4), (B) der Anzahl belegter Stationen bei Kastration (1-4), (C) der Parität der Sau (1, 2-4, > 4) und (D) der Kreuzung der Ferkel (1-5) zum Anteil der Tiere mit Abwehrrscore ≤ 1 auf Betrieb 2.

Kreuzung: 1: DL + Pi; 2: DL x DE + Pi; 3: DL x DE x DL + Pi; 4: DL + DänL; 5: DL + DL (Sau + Eber).

4. Narkosezwischenfälle und Verluste

Betrieb 1 (PigletSnoozer)

Auf Betrieb 1 kam es bei den Kastrationen der 2002 Ferkel in acht Durchgängen weder zu einem Narkosezwischenfall noch zu Verlusten während der Kastration. Binnen 24 Stunden nach der Kastration wurden insgesamt 0,35 % (n = 7; Erdrücken durch Muttersau (n = 3); unerkannte *Hernia scrotalis* (n = 4)) Ferkelverluste vermerkt.

Betrieb 2 (MS Pigsleeper + PorcAnest 3000®)

Bei den Kastrationen mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper kam es bei 0,58 % (n = 8/1378) der Ferkel zu einem Narkosezwischenfall. Vor Einleitung der Optimierungsmaßnahmen wurden 0,77 % Narkosezwischenfälle vermerkt (n = 4/517; Schnappatmung: n = 1, Apnoe: n = 1, Herzstillstand: n = 2). Nach Umsetzung der 1. Optimierungsmaßnahme kam es in 0,60 % der Kastrationen zu einem Narkosezwischenfall (n = 1/166; Apnoe: n = 1). Bei der 2. und auch 4. Optimierung traten keine Narkosezwischenfälle auf (n = 0/248, n = 0/221). Während der 3. Optimierungsmaßnahme wurden 1,32 % Narkosezwischenfälle dokumentiert (n = 3/226; Apnoe: n = 2, Herzstillstand: n = 1). Bei den Kastrationen mit dem Gerät MS Pigsleeper kam es zu keinen Verlusten während der Kastration. Binnen 24 Stunden nach der Kastration verstarb eins der 1378 kastrierten Ferkel mit dem Gerät MS Pigsleeper (0,07 %). Bei den Kastrationen mit dem Gerät PorcAnest 3000® trat bei 6,22 % (n = 13/209; Apnoe: n = 13) der Ferkel ein Narkosezwischenfall auf. Es kam zu keinen narkosebedingten Verlusten während oder bis 24 Stunden nach der Kastration unter Verwendung des Narkosegerätes PorcAnest 3000®. Insgesamt traten auf Betrieb 2 bei den Kastrationen der 1587 Ferkel in 19 Durchgängen unter Verwendung der beiden Narkosegeräte 1,32 % (n = 21) Narkosezwischenfälle auf. Bei den gesamt 1587 kastrierten Ferkel auf Betrieb 2 kam es zu keinen Ferkelverlusten während der Kastration. Insgesamt lag auf Betrieb 2 unter Verwendung der beiden Geräte MS Pigsleeper und PorcAnest 3000® die Mortalität binnen 24 Stunden nach Kastration bei 0,06 % (n = 1/1587).

5. Isofluranverbrauch und Filtergewichtszunahme

Betrieb 1 (PigletSnoozer)

Der Isofluranverbrauch in den Durchgängen bei Verwendung des PigletSnoozer lag durchschnittlich bei $0,41 \pm 0,06$ ml/Ferkel. Die Filtergewichtszunahme betrug im Mittel $0,22 \pm 0,08$ g/Ferkel. Der prozentuale Anteil von Isofluran im Filter lag durchschnittlich bei 34 %.

Betrieb 2 (MS Pigsleeper + PorcAnest 3000®)

In Tabelle 5 sind der Isofluranverbrauch und die Filtergewichtszunahme beim Narkosegerät MS Pigsleeper aufgeteilt nach Optimierungsmaßnahme aufgeführt. Wie im Methodenteil (III.2.4.4) beschrieben, wurde die Ermittlung des Isofluranverbrauchs ab dem sechsten Durchgang, in welchem die 1. Optimierungsmaßnahme umgesetzt wurde, präzisiert und ab dem elften Durchgang (Beginn der 3. Optimierung) zwischen den Durchgängen separat erfasst. Die ermittelten Isofluranverluste während der Standzeit des Gerätes zwischen den Durchgängen lagen durchschnittlich bei $12,31 \pm 9,67$ ml, wobei zwischen den Durchgängen ein Abstand von ein oder zwei Wochen im Wechsel war. Bei den Kastrationen mit dem PorcAnest 3000® (2 DG, n = 208) lag der durchschnittliche Isofluranverbrauch bei $0,60 \pm 0,01$ ml/Ferkel, die Filtergewichtszunahme bei $0,62 \pm 0,04$ g/Ferkel (prozentualer Anteil von Isofluran im Filter 69 %).

Tabelle 5: Mittelwert und Standardabweichung vom Isofluranverbrauch und der Filtergewichtszunahme beim Narkosegerät MS Pigsleeper je nach Optimierungsmaßnahme.

Optimierung	Isofluranverbrauch (ml/Ferkel)	Filtergewichtszunahme (g/Ferkel)	Anteil von Isofluran im Filter (%)	Ferkel n	DG n
0	$1,01 \pm 0,09$	$0,51 \pm 0,08$	33	794	5
1	$0,76 \pm 0,23$	$0,78 \pm 0,09$	70	166	2
2	$0,67 \pm 0,06$	$0,71 \pm 0,12$	71	248	3
3	$0,80 \pm 0,40$	$0,76 \pm 0,12$	76	226	3
4	$0,66 \pm 0,17$	$0,95 \pm 0,13$	98	221	3

n = Anzahl; DG = Durchgang

6. Arbeitszeit

In Tabelle 6 ist die Arbeitszeit für die einzelnen Arbeitsschritte bei der Kastration in Minuten aufgeführt. Die Arbeitsschritte Vorbereitung, Aufbau, Abbau sowie Reinigung und Desinfektion wurden jeweils von einer Person erledigt. Die Analgesie wurde auf Betrieb 1 von zwei Personen, auf Betrieb 2 teilweise auch von drei Personen durchgeführt und ist ebenso getrennt nach Zeit pro Ferkel und nach Zeit pro Ferkel und Person aufgezeigt. Kastration und Ferkeltransport wurden von zwei Personen ausgeführt und sind sowohl als Dauer pro Ferkel als auch als Dauer pro Ferkel und Person dargestellt. Die gesamte Arbeitszeit beinhaltet alle genannten Arbeitsschritte.

Tabelle 6: Arbeitszeit für die einzelnen Arbeitsschritte für Kastrationen mit PigletSnoozer und MS Pigsleeper in Minuten.

Arbeitszeit in Minuten	PigletSnoozer (Betrieb 1) (n = 5)		MS Pigsleeper (Betrieb 2) (n = 13)	
	MW ± SD	min/max	MW ± SD	min/max
Vorbereitung (gesamt)	7,8 ± 4,7	4,0/15,0	2,5 ± 0,5	2,0/3,0
Aufbau (gesamt)	15,2 ± 6,8	8,0/25,0	9,7 ± 5,1	3,0/22,0
Analgesie (Ferkel)	0,5 ± 0,1	0,4/0,6	0,5 ± 0,1	0,3/0,6
Analgesie (Ferkel & Person)	1,0 ± 0,1	0,9/1,1	1,1 ± 0,2	0,7/1,4
Kastration (Ferkel)	0,5 ± 0,1	0,4/0,6	1,0 ± 0,1	0,9/1,2
Kastration (Ferkel & Person)	1,0 ± 0,1	0,9/1,1	2,1 ± 0,1	1,7/2,3
Abbau (gesamt)	6,6 ± 2,3	5,0/10,0	6,2 ± 4,3	2,0/15,0
R+D (gesamt)	32,2 ± 5,3	25,0/39,0	9,0 ± 2,9	6,0/15,0
Arbeitszeit gesamt (Ferkel & Person)	2,0 ± 0,3	1,7/2,3	3,3 ± 0,3	2,8/3,7
Arbeitszeit gesamt (Ferkel)	0,8 ± 0,7	1,1/1,4	1,4 ± 0,8	1,6/2,1

n = Anzahl; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; min = Minimum; max = Maximum,

R+D = Reinigung und Desinfektion

7. Isoflurankonzentration am Arbeitsplatz

Die Ergebnisse der drei Arbeitsplatzsicherheitsmessungen pro Betrieb sind zusammengefasst in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Isoflurankonzentration in mg Isofluran/m³ Raumluft an den fünf genannten Messpunkten bei PigletSnoozer und MS Pigsleeper.

	Messpunkt	MW ± SD	min/max
PigletSnoozer	Kastrateur:in	25,6 ± 41,5	1,6/73,5
	Transporteur:in	12,2 ± 6,7	7,8/20,0
	Masken	93,2 ± 76,3	28,4/177,3
	Filter	231,5 ± 241,9	26,6/498,4
	Aufwachbox	49,2 ± 24,5	22,0/69,4
MS Pigsleeper	Kastrateur:in	6,3 ± 5,3	3,1/12,4
	Transporteur:in	4,7 ± 3,8	2,4/9,0
	Masken	700,6 ± 432,1	208,5/1017,7
	Filter	13,8 ± 2,5	11,5/16,5
	Aufwachbox	77,8 ± 43,6	39,0/125,0

MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung; min = Minimum; max = Maximum

In Abbildung 13 und Abbildung 14 sind die Messergebnisse je nach Gerät aufgeteilt nach erster, zweiter und dritter Messung an den einzelnen Messstationen graphisch dargestellt.

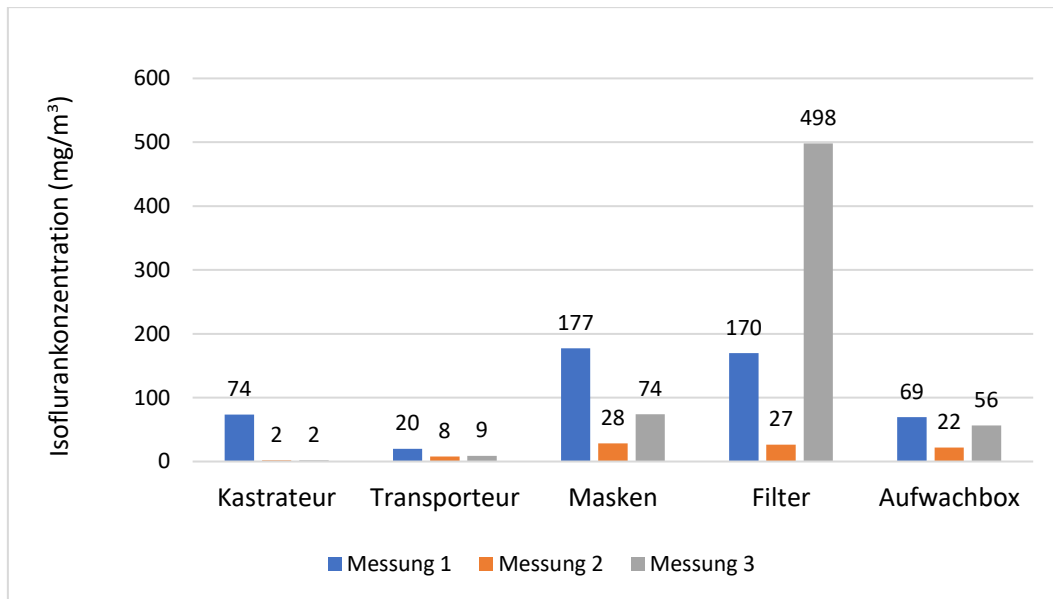


Abbildung 13: Isoflurankonzentrationen (mg/m³) an den einzelnen Messstationen auf Betrieb 1 am Narkosegerät PigletSnoozer.

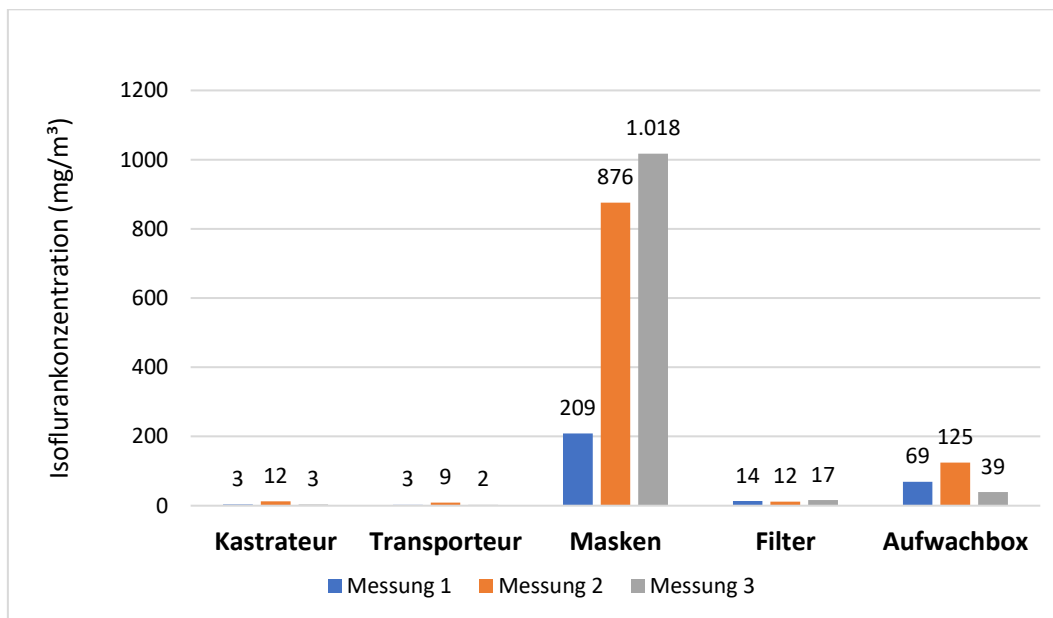


Abbildung 14: Isoflurankonzentrationen (mg/m³) an den einzelnen Messstationen auf Betrieb 2 am Narkosegerät MS Pigsleeper.

8. Mikrobiologische Untersuchungen der Narkosemasken

In Tabelle 8 sind die Gesamtkeimzahlen mesophiler Bakterien zu den unterschiedlichen Beprobungszeitpunkten dargestellt. Eine Reinigung und Desinfektion der Narkosemasken verringerte die Gesamtkeimzahl im Mittel um 3 log-Stufen (nach der Lagerung) und um 5 log-Stufen (nach der Kastration). Auf Betrieb 1 (Lagerung der Maske im Zip-Beutel) und auf Betrieb 2 (Lagerung der Maske offen auf dem Gerät liegend) wurden nach Kastration nach erfolgter Reinigung und Desinfektion im Mittel Gesamtkeimzahlen von 9×10^1 bzw. $2,63 \times 10^2$ und nach der Lagerung vor der nächsten Kastration $2,68 \times 10^4$ bzw. $2,76 \times 10^5$ ermittelt. Nach den Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen je vor und nach der Kastration befanden sich die Gesamtkeimzahlen der Masken in etwa auf dem gleichen Niveau.

Tabelle 8: Mittelwert und Standardabweichung der nachgewiesenen Gesamtkeimzahl mesophiler Bakterien der Beprobung der Narkosemasken beider Betriebe zu den unterschiedlichen Beprobungszeitpunkten.

Beprobungszeitpunkt	Anzahl Beprobungen	Gesamtkeimzahl	
		MW	SD
Vor Narkose	4	$1,51 \times 10^5$	$1,32 \times 10^5$
Nach R+D vor Narkose	6	$2,52 \times 10^2$	$1,86 \times 10^2$
Nach Narkose	6	$1,86 \times 10^7$	$1,59 \times 10^7$
Nach R+D nach Narkose	6	$1,77 \times 10^2$	$1,24 \times 10^2$

R+D = Reinigung und Desinfektion; MW = Mittelwert; SD = Standardabweichung

Tabelle 9 zeigt die Nachweishäufigkeiten von *E. coli* und MRSA in der beprobten Narkosemaske von Betrieb 1 und 2. Vor der Narkose konnte in einem Fall sowohl *E. coli* als auch MRSA nachgewiesen werden. Nach der Kastration wurde bei allen Beprobungen *E. coli* und MRSA an der Maske aufgefunden. Nach Reinigung und Desinfektion konnten an diesen Masken weder *E. coli* noch MRSA nachgewiesen werden.

Tabelle 9: Anzahl der Nachweise von *E. coli* und MRSA auf den Narkosemasken von sechs Beprobungsdurchgängen.

Beprobungszeitpunkt	Nachweis von <i>E. coli</i>	Nachweis von MRSA
Vor Narkose	1 von 4	1 von 4
Nach R+D vor Narkose	0 von 6	0 von 6
Nach Narkose	6 von 6	6 von 6
Nach R+D nach Narkose	0 von 6	0 von 6

R+D = Reinigung und Desinfektion

V. DISKUSSION

Seit dem Verbot der betäubungslosen Ferkelkastration am 01.01.2021 standen in den letzten zwei Jahren die verschiedenen gesetzeskonformen Alternativen für die betäubungslose Saugferkelkastration vermehrt im Fokus der Öffentlichkeit (TierSchG, 2021). Zu Beginn des Jahres 2021 kastrierten ca. 40 % der Sauenhalter:innen unter automatisierter Isoflurannarkose (BMEL, 2021). Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Durchführung der automatisierten Isoflurannarkose mit drei Narkosegeräten auf zwei Ferkelerzeugerbetrieben zu evaluieren und gezielt zu optimieren. Dabei standen eine für Ferkel und Anwender:innen sichere Kastrationsmethode mit ausreichender Narkosetiefe der Ferkel, geringen Narkosezwischenfällen und -verlusten sowie die Anwendersicherheit im Vordergrund.

1. Gerätefunktion

Da die Durchführung und somit auch die Ergebnisauswertung der automatisierten Isoflurannarkose bei der Saugferkelkastration im hohen Maße von der Funktionalität des Narkosegerätes abhängt, konnten nur Datensätze von Durchgängen ausgewertet werden, in denen die Narkosegeräte ohne Anzeichen von Störungen funktionierten. Jedoch traten in der vorliegenden Studie auf Betrieb 1 bei dem Narkosegerät PigletSnoozer mehrfach technische Probleme auf, sodass zwei Kastrationsdurchgänge zu Beginn abgebrochen wurden und keine Auswertung erfolgen konnte. Diese beiden Durchgänge wurden komplett aus der Datenauswertung ausgeschlossen und nicht gezählt. Bei einem weiteren Durchgang (DG 6) konnten anfängliche technische Störungen des Gerätes vor der Kastration durch die bedienende Person beseitigt und der Durchgang ausgewertet werden. Aufgrund eines technischen Defekts des Gerätes während dem siebten Durchgang erfolgte die Narkose zur Kastration mit einem baugleichen PigletSnoozer Ersatzgerät von demselben Hersteller (Fa. GFS Top-Animal-Service GmbH, Ascheberg) und wurde ebenfalls in die Auswertung der Ergebnisse miteinbezogen. Bei

den genannten Störungen floss kein Narkosegas-Sauerstoff-Gemisch zu den Atembeutel/Narkosemasken wodurch die Ferkel nicht ausreichend anästhesiert wurden, obwohl das Gerätedisplay keine Störung meldete. Das Gerät verfügt über eine interne Fehlersuche und gibt häufige Fehler normalerweise im Display an, z. B. „KEIN DRUCK“, „KEINE ISOSTRÖMUNG“ oder „ISOFLURAN“ (GFS, 2021). Auch nach mehrfacher technischer Überprüfung durch den Servicedienst des Herstellers konnte die Ursache dieser Störung nicht endgültig geklärt werden. In vorangegangenen Untersuchungen von WINNER et al. (2022) kam es vermehrt zu technischen Störungen, sodass bei insgesamt 21 von 150 Kastrationsdurchgängen die Kastrationen abgebrochen werden mussten und keine Auswertung erfolgen konnte. Umfragen unter Landwirten und Landwirtinnen ein Jahr nach Einführung der Isoflurannarkose in Deutschland von GÄCKLER et al. (2021) ergaben ebenfalls, dass es zum Teil zu erheblichen Problemen mit den Geräten kam und bei gut 40 % aller Narkosegeräte bereits Reparaturen oder der Austausch von Bauteilen erforderlich waren. GÄCKLER et al. (2021) erläutern, dass Anwender:innen, die eine Geräteeinweisung erhalten, mit der sensiblen Technik der Narkosegeräte vertrauter sind und seltener Anwenderfehler begehen, jedoch erhielten laut der Umfrage 43 % der teilnehmenden Landwirte und Landwirtinnen keine Geräteeinweisung. So können auch Fehler bei der Lagerung, Reinigung oder Desinfektion die Gerätefunktion einschränken. Entsprechend kann eine nicht korrekte Lagerung gegen die Herstellerangaben in z. B. einer zu kalten Umgebung zu schlechteren Ergebnissen bezüglich der Narkosetiefe führen (BURREN & JÄGGIN, 2008). Außerdem soll sich laut GÄCKLER et al. (2021) keine Feuchtigkeit im System befinden. Jedoch ist eine Restfeuchtigkeit nach der Reinigung und Desinfektion trotz Trockenzeit denkbar, besonders wenn das Gerät mit einer wasserundurchlässigen Hülle abgedeckt wird. Auch können beim Umgang mit diesem Gerät, z. B. durch Fahren auf unebenem Boden, Montieren und Demontieren von Bauteilen zur Reinigung und Desinfektion, sensible Geräteteile verändert oder beschädigt werden und somit Undichtigkeiten oder schadhafte elektrische Kontaktverbindungen entstehen. So trat in der vorliegenden Untersuchung beim Narkosegerät MS Pigsleeper auf Betrieb 2 ein Wackelkontakt zum Infrarotsensor einer

Maskenposition auf, sodass teilweise das eingelegte Ferkel nicht erkannt wurde und die Narkosegaseinleitung auf dieser Position nicht automatisch begann. Entsprechend sind die Anwender:innen laut Betriebsanleitung dazu angehalten das Gerät, insbesondere Kabel, Schläuche, Gummimasken und Atembeutel regelmäßig auf Beschädigungen und korrekten Sitz zu überprüfen (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e; MS SCHIPPERS, 2020; GFS, 2021). Des Weiteren wurde vom Herstellerservice darauf hingewiesen, dass die Infrarotsensoren Ferkel mit einer Pigmentierung am Kopf oft unzuverlässig beim Einlegen detektieren. So kann die Nutzung automatisierter Narkosegeräte unter Feldbedingungen auf den Betrieben eine Herausforderung darstellen. Aufgrund des häufigen Vorkommens von technischen Störungen der Narkosegeräte in der vorliegenden Studie sowie der Untersuchung von WINNER et al. (2022) ist demnach eine regelmäßige Wartung der Geräte, eine gute Schulung und eine umfangreiche Betreuung der Anwender:innen unabdingbar.

2. Narkosetiefe

Die Narkosetiefe wurde bei insgesamt 3336 Ferkeln während der Kastration unter automatisierter Isoflurannarkose ausgewertet. Ein:e Mitarbeiter:in der Klinik für Schweine war bei vier (DG 1, 2, 5, 7) von insgesamt acht Durchgängen auf Betrieb 1 anwesend. Auf Betrieb 2 war ein:e Mitarbeiter:in der Klinik für Schweine in fast allen der 19 Durchgänge mit Ausnahme von vier Durchgängen (DG 8, 16, 18, 19) bei den Kastrationen vor Ort. Während der Kastration wurden die Ferkel bei jedem Durchgang gefilmt. In seltenen Fällen verrutschte die Position der Kamera oder es wurde vergessen, die Kamera anzuschalten, sodass nicht von jedem kastrierten Ferkel eine Videoaufzeichnung vorlag. Die Auswertung des Videomaterials wurde stets von der gleichen Person anhand eines vorher festgelegten und eingeübten Abwehrscores durchgeführt, um die Objektivität in der Beurteilung der Narkosetiefe bzw. der Abwehrbewegungen zu verbessern. Diese Methode wurde für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse nach Abstimmung mit WINNER et al. (2022) analog zu deren Untersuchung auch in dieser Studie angewandt.

Ebenso in den Studien von ABENDSCHÖN et al. (2020) und SALLER et al. (2020) zur Saugferkelkastration unter Lokalanästhesie wurden die Ferkel während der Kastration gefilmt und die Narkosetiefe aufgrund Abwehrbewegungen anhand der Videoaufnahmen retrospektiv beurteilt. Allerdings war in der vorliegenden Studie eine Verblindung nicht möglich, sodass die Person, die die Videos auswertete, stets wusste mit welchem Gerät kastriert wurde. Da in dieser Studie die automatisierte Isoflurannarkose bei der routinemäßigen Kastration durch Landwirte und Landwirtinnen unter Feldbedingungen untersucht werden sollte eigneten sich objektivere, aber teils sehr aufwendige und invasive Maßnahmen zur Beurteilung der Narkosetiefe wie Blutdruck, Herzfrequenz, Elektroenzephalographie (EEG) oder Stressparameter im Blut nicht. In der Studie von RÜDEBUSCH et al. (2022) wurden für die Kastration unter Isoflurannarkose gewichtsabhängig unterschiedliche Narkoseeinleitungszeiten und ihre Effektivität auf die Narkosetiefe mittels Abwehrbewegungen, Pulsfrequenzänderungen und EEG-Messungen untersucht. Dabei erwiesen sich Herzfrequenz und EEG-Messungen als ungeeignete Parameter für die Beurteilung von Schmerzen (RÜDEBUSCH et al., 2022). SHEIL und POLKINGHORNE (2020) sowie ISON et al. (2016) bewerten rückblickend auf andere Studien Abwehrbewegungen während der Kastration als zuverlässigen Parameter zur Schmerzerkennung. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Narkosetiefe anhand eines modifizierten Abwehrscores nach HÄRTEL et al. (2021) beurteilt. Dabei wurden analog zu HÄRTEL et al. (2021) und WINNER et al. (2022) die Abwehrscores 0 und 1 als ausreichende Narkosetiefe definiert. Ferkel, die mit dem Score 1 beurteilt wurden, waren bewusstlos und zeigten nur eine kurze, nicht reproduzierbare Reaktion einer Gliedmaße, obwohl der Schmerzreiz vom Hautschnitt bis zur Samenstrangdurchtrennung anhielt (HÄRTEL et al., 2021; WINNER et al., 2022). Der Betäubungserfolg von Ferkel, die in diese beiden Abwehrscores kategorisiert wurden, wurde aufgrund der fehlenden Reproduzierbarkeit von Abwehrbewegungen trotz anhaltendem Schmerzreiz als ausreichende Narkosetiefe interpretiert und klassifiziert.

2.1. PigletSnoozer

Mit dem Narkosegerät PigletSnoozer auf Betrieb 1 hatten $79,2 \pm 11,3$ % der Ferkel während der Kastration eine ausreichende Narkosetiefe. Im Rahmen der Zertifizierung des Gerätes PigletSnoozer durch die DLG wurden im Prüfverfahren bei nur 2 % der Ferkel Schmerzreaktionen während der Kastration beobachtet, wobei die genaue Einteilung von Abwehrbewegungen im Prüfbericht nicht angegeben ist und somit ein Vergleich schwer fällt (DLG, 2020g). Laut den Umfrageergebnissen von GÄCKLER et al. (2021) fällt das Narkosegerät PigletSnoozer von allen fünf zertifizierten Narkosegeräten im Hinblick auf die Häufigkeit von beobachteten Schmerzreaktionen durch die Anwender:innen am schlechtesten aus. Aufgrund der wiederkehrenden technischen Probleme bei diesem Gerät konnten in der vorliegenden Untersuchung im Studienzeitraum keine Optimierungsmaßnahmen erfolgen. Zunächst war geplant die Einleitungszeit zu verlängern, zum anderen sollte das Gerät anstatt mit Sauerstoff mit komprimierter Raumluft betrieben werden, um den Einfluss des Trägergases auf die Narkosetiefe zu untersuchen. So sind für das Narkosegerät PigletSnoozer zukünftig weitere vergleichbare Untersuchungen wichtig, um Optimierungsmaßnahmen zu eruiieren und zu überprüfen.

2.2. MS Pigsleeper

Auf Betrieb 2 mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper war die Narkosetiefe vor den Optimierungsmaßnahmen bei $81,6 \pm 4,3$ % der Ferkel ausreichend und konnte mit Optimierungen (externe Heizung am Verdampfer, Erhöhung der Ventilatorgeschwindigkeit und Verlängerung der Narkoseeinleitungszeit von 70 Sekunden auf 90 Sekunden) auf $93,6 \pm 1,8$ % erhöht werden. Der Einfluss der einzelnen Optimierungsmaßnahmen auf den Anteil der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe wird in V.2.5 genauer diskutiert.

In der Studie von JÄGGIN und BURREN (2008) wurde mit dem gleichen Gerät sogar bei durchschnittlich 97,5 % der kastrierten Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe erzielt. Grund für die besseren Ergebnisse von JÄGGIN und BURREN (2008) könnten die längere Einleitungszeit von

durchschnittlich 102 Sekunden und die Verwendung von medizinischem Sauerstoff sein. Laut EBERSPÄCHER-SCHWEDA (2020a) erhöht sich die Konzentration des Inhalationsnarkotikums bei Verwendung von 100 % Sauerstoff im Vergleich zu Raumluft als Trägergas, da die Verdampfer nur mit Raumluft kalibriert werden.

2.3. PorcAnest 3000®

Auf Betrieb 2 wurde in zwei Durchgängen das Narkosegerät PorcAnest 3000® untersucht und hierbei im Vergleich zu den Vorsteinstellungen des Gerätes und der Untersuchung von WINNER et al. (2022) die Einleitungszeit auf 90 Sekunden verlängert. Das Gerät PorcAnest 3000® erzielte in der vorliegenden Studie bei einer Einleitungszeit von 90 Sekunden bei $92,7 \pm 0,5$ % der kastrierten Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe. Bei HÄRTEL et al. (2021) wurde mit dem gleichen Gerät bei einer Narkoseanflutungszeit von 90 Sekunden sogar bei 95,3 % der Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe erzielt. WINNER et al. (2022) kam mit dem Narkosegerät PorcAnest 3000® zu einer der vorliegenden Studie ähnlichen Verteilung der Tiere mit ausreichender Narkosetiefe (92,4 %) bei einer Einleitungszeit von nur 70 Sekunden. Die etwas schlechteren Ergebnisse in der vorliegenden Studie sowie in der Untersuchung von WINNER et al. (2022) im Vergleich zu HÄRTEL et al. (2021) lassen sich eventuell durch die nicht standardisierten Feldbedingungen und der Durchführung der Kastration durch Landwirte und Landwirtinnen und nicht durch Tierärzte und Tierärztinnen erklären. In der Studie von HÄRTEL et al. (2021) handelte es sich um eine Vorgängerversion des aktuell auf dem Markt befindlichen Gerätes PorcAnest 3000®, welches noch nicht durch die DLG zertifiziert wurde, da die Untersuchung vor der Zertifizierung der Narkosegeräte stattfand. Bei dieser Geräteversion blieb der Isofluranfluss bis maximal vier Minuten bestehen, solange sich das Ferkel in der Narkosemaske befand, wohingegen bei WINNER et al. (2022) und auch in der vorliegenden Studie der Isofluranfluss nach 90 Sekunden automatisch endete und nur noch Raumluft zu den Masken strömte.

2.4. Ergebnisse aus weiteren Studien mit anderen Geräten

Hingegen wurde unter Verwendung des Narkosegerätes PigNap® in der Studie von BURREN und JÄGGIN (2008) bzw. KUPPER und SPRING (2008) bei 92 % der kastrierten Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe bei einer Einleitungszeit von durchschnittlich 89 Sekunden bzw. 84 Sekunden festgestellt. Bei WINNER et al. (2022) erzielte das gleiche Gerät bei einer Einleitungszeit von 70 Sekunden bei nur 84,8 % der Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe. Ein möglicher Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse könnten die verschiedenen Einleitungszeiten sein. SCHWENNEN et al. (2016) konnten bei einer Anflutungszeit von 70 Sekunden mit dem gleichen Gerät bei nur 77 % der Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe feststellen. Das verwendete Narkosegerät PigNap® in der Untersuchung von SCHWENNEN et al. (2016) war zu diesem Zeitpunkt noch nicht überarbeitet, was möglicherweise die schlechteren Ergebnisse erklären könnte. Bei STEIGMANN (2013) erreichte das Narkosegerät PigNap® bei nur 66 % der Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe während der Kastration, allerdings wurde dieses Ergebnis anhand von EEG-Auswertungen und nicht anhand Abwehrbewegungen ausgewertet, somit sind die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar. So können laut RÜDEBUSCH et al. (2022) aufgrund der Rückenlagerung der Ferkel sowie durch Abwehrbewegungen die EEG-Elektroden verrutschen und folglich zu Übertragungsstörungen führen, wodurch sich die Elektroenzephalographie als ein wenig verlässlicher Parameter bei der Untersuchung der Narkosetiefe in dieser Versuchsanordnung darstellt.

PREISWERK et al. (2022) untersuchten vergleichend die Narkosegeräte Pigsleeper, PorcAnest 3000® (Einleitungszeit von je 90 Sekunden) und PigNap® (Einleitungszeit 70 Sekunden) und verzeichneten bei durchschnittlich 68 % bzw. 63 % der Ferkel beim Hautschnitt bzw. der Durchtrennung der Samenstränge eine ausreichende Narkosetiefe. Allerdings werteten PREISWERK et al. (2022) eine Abwehrbewegung ≥ 1 schon als unzureichende Narkosetiefe, was die im Vergleich zu der vorliegenden Studie schlechteren Ergebnisse erklären könnte. In der Studie von ENZ et al. (2013) unter Verwendung der Narkosegeräte MS

Pigsleeper, PorcAnest 3000® (Einleitungszeit von je 90 Sekunden) und PigNap® (Einleitungszeit 75 Sekunden) konnte bei durchschnittlich 86 % der kastrierten Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe erreicht werden, wobei mit dem Gerät PigNap® signifikant häufiger Abwehrbewegungen verzeichnet wurden, was die Autoren mit der verringerten Einleitungszeit dieses Gerätes (75 Sekunden) im Vergleich zu den anderen untersuchten Geräten (90 Sekunden) erklären.

2.5. Optimierungen

Auf Grundlage vorheriger Untersuchungen von HÄRTEL et al. (2021) und WINNER et al. (2022) lag der Schwerpunkt dieser Studie auf der Verbesserung der automatisierten Isoflurannarkose im Sinne des Tierwohls und der Anwendersicherheit. Optimierungen von aufgetretenen Problemen aus den Studien von HÄRTEL et al. (2021) und WINNER et al. (2022) wurden von Beginn an in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigt und übernommen, wie zum Beispiel die Aufwachphase der Ferkel bei der Sau und nicht am Stallgang, sobald die Tiere wieder geh- und stehfähig sind und auch eine Erhöhung der Luftwechselrate am Kastrationsort. Auf beiden Betrieben dienten die ersten Durchgänge dazu Schwachstellen zu identifizieren um diese in den folgenden Durchgängen gezielt zu optimieren. Aufgrund mehrerer technischer Störungen mit dem Narkosegerät PigletSnoozer auf Betrieb 1 wurden auf diesem Betrieb keine gezielten Optimierungsmaßnahmen durchgeführt. Auf Betrieb 2 wurden unterschiedliche Gasfluss- oder Ventilations-Einstellungen am Gerät, externe Wärmezufuhr am Verdampfer sowie eine Verlängerung der Narkoseeinleitungszeit überprüft. Alle Optimierungsmaßnahmen hatten eine verbesserte Narkosetiefe und eine höhere Anwendersicherheit im Hinblick auf die Isofluranexposition am Arbeitsplatz als Ziel.

2.5.1. Gasflussgeschwindigkeit und Temperaturkompensation

Generell sind zu Beginn einer Narkoseeinleitung durch Inhalation zum schnellen Erreichen einer angemessenen Anästhesie hohe Narkosegaskonzentrationen und ein hoher Frischgasfluss erforderlich (LARSEN et al., 2022a). Allerdings kann es bei den gebräuchlichen dampfförmigen Inhalationsanästhetika dosisabhängig zu einer

Atemdepression kommen, sodass bei Zufuhr höherer Konzentrationen eine Hypoventilation eintritt, dadurch weniger Anästhetikum eingeatmet wird und die alveoläre Konzentration somit langsamer zunimmt (LARSEN et al., 2022a). Da es sich bei der Saugferkelkastration um einen sehr kurzen Eingriff handelt, findet bei der automatisierten Isoflurannarkose nur die Einleitungsphase statt und eine klassische Narkoseerhaltungsphase fällt sehr kurz aus. Die Voreinstellungen der verfügbaren automatisierten Narkosegeräte für die Saugferkelkastration liegen bei einem kontinuierlichen Strom von 5 Vol.-% Isofluran bei einer Durchflussgeschwindigkeit von 2 l/min (RÜDEBUSCH et al., 2022). Falsche Voreinstellungen am Gerät können sich auf die Narkosetiefe auswirken und relativ lange unentdeckt bleiben, da die Einstellungen normalerweise manipulationssicher korrekt voreingestellt sind und erstmals keine Fehler zu erwarten sind. Nichtsdestotrotz wurde beim PigletSnoozer auf Betrieb 1 durch den Herstellerservice ein Missverhältnis zwischen der Zuluft und Abluft im fünften Durchgang festgestellt und korrigiert. Dies könnte zu den unzureichenden Ergebnissen der Narkosetiefe beigetragen haben. Im fünften Durchgang wurde nach Korrektur des Missverhältnisses und von Undichtigkeiten bei 92,6 % der Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe erreicht. Allerdings war in den folgenden Durchgängen (DG 6 bzw. 8) mit demselben Gerät die Narkosetiefe bei nur 86,3 % bzw. 61,3 % der Ferkel ausreichend. Auf Betrieb 2 wurden unterschiedliche Ventilatoreinstellungen mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper untersucht. Auch wenn sich in dieser Studie die Ergebnisse mit veränderten Ventilatoreinstellungen nicht statistisch signifikant von den Ausgangseinstellungen unterschieden, so war dennoch eine Erhöhung des Anteils der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe bei verringerten Ventilatoreinstellungen ($86,0 \pm 1,7$ %) (Optimierung 1) und eine Verringerung des Anteils an Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe bei erhöhten Ventilatoreinstellungen ($82,7 \pm 2,6$ %) (Optimierung 3) zu sehen (vor Optimierungen $81,6 \pm 4,3$ % der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe). Sowohl EBERSPÄCHER-SCHWEDA (2020a) als auch HENKE und HABERSTROH (2012) beschreiben, dass bei einer Erhöhung des Gasflusses im Verdampfer die Konzentration des Inhalationsnarkotikums im Gasgemisch die Gleiche bleibt, aber auch

abnehmen kann, was eine Erklärung für diese Ergebnisse liefern könnte. HENKE und HABERSTROH (2012) erläutern dafür drei ursächliche Mechanismen: Erstens nimmt bei hohen Frischgasflüssen die Durchströmungsgeschwindigkeit im Verdampfer zu und die Kontaktzeit mit dem Inhalationsanästhetikum ab, sodass keine vollständige Sättigung des Trägergases erfolgt. Zweitens bringen hohe Gasflüsse das Gleichgewicht zwischen Dampfphase und Flüssigkeitsphase durcheinander, da mehr Moleküle des Inhalationsnarkotikums mitgerissen werden und das zuströmende Frischgas auf eine untersättigte Dampfphase trifft. Drittens kann bei hohen Gasflüssen aufgrund eines erhöhten Verdampfungsumsatzes eine starke Abkühlung durch Verdunstungskälte auftreten, wodurch der Partialdruck des Inhalationsnarkotikums abnehmen kann. Manche Verdampfer sind deshalb mit einer integrierten Heizung zur Temperaturkompensation ausgestattet. So verfügen die Verdampfer der Narkosegeräte PigletSnoozer, PorcAnest 3000® und PigNap 4.0 über eine integrierte Heizung (DLG, 2020g, 2020c, 2020d). Da die Durchführung dieser Studie größtenteils im Winter erfolgte und die Umgebungstemperaturen teilweise unterhalb der Empfehlungen des Herstellers lagen, wurden auf Betrieb 2 am Narkosegerät MS Pigsleeper, welches über keine integrierte Heizung verfügt, als Optimierungsmaßnahme (Optimierung 2-4) ein Heizlüfter als externe Wärmequelle verwendet, um den Anforderungen des Gerätes gerecht zu werden. Auch wenn die alleinige Optimierungsmaßnahme der externen Wärmequelle keine statistisch signifikant bessere Narkosetiefe der Ferkel im Vergleich zu den Ausgangswerten vor Einführen der Optimierungen erzielte ($p > 0,05$) stellt diese Erhöhung des Anteils der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe von $81,6 \pm 4,3$ % (keine Optimierung) auf $89,0 \pm 2,4$ % (Optimierung 2) trotzdem eine nennenswerte Verbesserung dar. Eine mögliche Erklärung dafür bieten auch HENKE und HABERSTROH (2012), die erläutern, dass während des Verdampfungsprozesses das flüssige Anästhetikum durch Verdunstungskälte abkühlt, sodass, wenn der Verdampfer über keine Temperaturkompensation verfügt, mit zunehmender Narkosedauer weniger Inhalationsnarkotikum verdampft als am Anfang. Jedoch konnten PREISWERK et al. (2022) in ihren Untersuchungen keinen signifikanten

Einfluss von Heizsystemen auf den Anteil der Ferkel mit Abwehrbewegungen feststellen, was sich möglicherweise durch die Durchführung der Studie im Hochsommer erklären lässt. Auch wenn Geschwindigkeitsänderungen des Gasflusses und der Einsatz einer externen Wärmequelle den Anteil an Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe in dieser Studie nicht signifikant beeinflussten, so war dennoch eine Erhöhung des Anteils ausreichend narkotisierter Ferkel bei einem verringerten Gasfluss und mit externer Wärmezufuhr im Vergleich zu den Ausgangswerten zu sehen. Jede Erhöhung des Anteils an Tieren mit ausreichender Narkosetiefe ist als Verbesserung im Sinne des Tierwohls einzustufen. Jedoch sind für die Reproduzierbarkeit der in der vorliegenden Studie untersuchten Optimierungsmaßnahmen noch weitere Untersuchungen erforderlich.

2.5.2. Einleitungszeit

Zwischen ähnlich aufgebauten Studien fallen immer wieder die unterschiedlichen Ergebnisse des Anteils der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe bei verschiedenen Einleitungszeiten auf. In der vorliegenden Studie hatte eine Verlängerung der Einleitungszeit auf 90 Sekunden inklusive einer externen Wärmequelle auf Betrieb 2 mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper verglichen mit den Ausgangswerten (vor Optimierungen: $81,6 \pm 4,3$ %) einen signifikanten Einfluss auf den Anteil der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe (Optimierung 4: $93,6 \pm 1,8$ %; $p \leq 0,05$). Das Narkosegerät PorcAnest 3000® erzielte in dieser Studie bei einer Einleitungszeit von 90 Sekunden bei $92,7 \pm 0,5$ % der kastrierten Ferkel eine ausreichende Narkosetiefe. Auch wenn in der vorliegenden Untersuchung eine Anflutungszeit von 70 Sekunden bei dem Narkosegerät PorcAnest 3000® nicht untersucht wurde, können als Vergleich die Ergebnisse von WINNER et al. (2022) mit dem gleichen Gerät mit einer Einleitungszeit von nur 70 Sekunden herangezogen werden, die allerdings zu einer ähnlichen Verteilung der Tiere mit ausreichender Narkosetiefe ($92,4$ %) führten. RÜDEBUSCH et al. (2022) untersuchten unterschiedliche Anflutungszeiten für die automatisierte Isoflurannarkose. Allerdings wurde trotz Verlängerung der Einleitungszeit auf insgesamt 100 bis 115 Sekunden in Abhängigkeit vom Ferkelgewicht nur bei $80,0$ %

(Isofluran-Raumluft) bzw. 63,6 % (Isofluran-Sauerstoff) der Ferkel eine ausreichende Anästhesie anhand von Abwehrreaktionen während der Kastration festgestellt. Eine mögliche Erklärung für die schlechteren Ergebnisse trotz verlängerten Narkoseanflutungszeiten in der Studie von RÜDEBUSCH et al. (2022) könnte die abweichende Beurteilung des Abwehrscores im Vergleich zur vorliegenden Studie sein, da bei RÜDEBUSCH et al. (2022) ein Abwehrscore ≥ 1 schon als unzureichend bewertet wurde. Obwohl sich bei RÜDEBUSCH et al. (2022) die Einstellungen des Anästhesiegerätes mit einer Flussrate von 2 l/min und 5 Vol.-% Isofluran nicht von automatisierten Narkosegeräten unterschieden, muss trotzdem betont werden, dass es sich um kein automatisiertes Narkosegerät zur alleinigen Ferkelnarkose handelte und die Studie zudem unter standardisierten Bedingungen stattfand. Ein weiterer Unterschied besteht in der Dauer des Kastrationsprozesses, welcher sich bei RÜDEBUSCH et al. (2022) standardisiert über 1 Minute vollzog und in dieser Zeit nur noch Trägergas zum Ferkel floss und das Ferkel eventuell schon wieder am Erwachen war. Zwar wurde in der vorliegenden Studie die Zeit für die reine Kastration (Hautschnitt, Vorverlagern der Hoden, Durchtrennung der Samenstränge) nicht einzeln berechnet, jedoch gehen aus der Studie von JÄGGIN und BURREN (2008) sehr kurze Kastrationszeiten zwischen 12 bis 18 Sekunden unter Feldbedingungen hervor. Bei BURREN und JÄGGIN (2008) betrug die reine Kastrationszeit exklusive der Einleitungszeit durchschnittlich 17 Sekunden pro Ferkel. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass eine Verlängerung der Einleitungszeit auf 90 Sekunden bei den Kastrationen mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper einen signifikanten Einfluss auf den Anteil der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe hatte ($p \leq 0,05$). Allerdings sind für die anderen zertifizierten Narkosegeräte noch weitere Untersuchungen mit verlängerten Narkoseanflutungszeiten nötig.

In der vorliegenden Studie wurde das chirurgische Toleranzstadium anhand des ZKR getestet und bei positivem Befund die Einleitungszeit manuell verlängert. Allerdings wurde dieser Einfluss bei der Auswertung der Daten in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Jedoch machten HÄRTEL et al. (2021) mit einer Verbesserung des Anteils der ausreichend

narkotisierten Ferkel während der Kastration von 94,3 % auf 95,3 % durch vorherige Testung des ZKR nochmal deutlich wie wichtig die Überprüfung der Narkosetiefe mit eventueller Verlängerung der Narkose vor Kastrationsbeginn ist. Übereinstimmend gibt auch laut EGER et al. (1988) und RINTISCH et al. (2012) der Ausfall des Zwischenklauenreflexes einen guten Anhaltspunkt für die Feststellung der chirurgischen Toleranz. EGER et al. (1988) beschreiben den Zwischenklauenreflex beim Schwein als supramaximalen Schmerzstimulus, der sogar eine größere Schmerzreaktion als eine Hautinzision auslöst. Allerdings erwies sich die alleinige Prüfung des Zwischenklauenreflexes bei RÜDEBUSCH et al. (2022) als nicht geeignet, um eine ausreichende Anästhesietiefe für die Kastration zu sichern. Da allerdings sämtliche Reflextests am Kopf (Lid-, Korneal-, Pupillarreflex) zur Überprüfung der Narkosetiefe aufgrund der Maskennarkose nicht möglich sind, erscheint der Zwischenklauenreflex unter Praxisbedingungen am zuverlässigsten.

2.5.3. Trägergas

Laut EBERSPÄCHER-SCHWEDA (2020a) erhöht sich die Konzentration des Inhalationsnarkotikums bei Verwendung von 100 % Sauerstoff im Vergleich zu Raumluft als Trägergas, da die Verdampfer nur mit Raumluft kalibriert werden. Aufgrund der mangelnden Gerätefunktion des PigletSnoozer auf Betrieb 1 konnte in der vorliegenden Studie kein direkter Vergleich zwischen Raumluft und Sauerstoff als Trägergas mit demselben Gerät auf dem gleichen Betrieb durchgeführt werden. Das Narkosegerät PigletSnoozer wurde in der vorliegenden Untersuchung mit medizinischem Sauerstoff und das Gerät MS Pigsleeper mit komprimierter Raumluft betrieben. Da es sich in dieser Studie um zwei unterschiedliche Betriebe und zwei verschiedene Geräte handelte, ist eine Aussage aufgrund der Datenlage bezüglich des Einflusses des Trägergases nicht möglich. In den Untersuchungen von PREISWERK et al. (2022) war der Anteil an Tieren mit Abwehrbewegungen bei Narkosegeräten, die mit Raumluft als Trägergas betrieben wurden signifikant höher als mit Sauerstoff als Trägergas. Die Autoren begründen die vermehrten Abwehrbewegungen bei mit Raumluft als Trägergas anästhesierten Tieren mit einer kompensatorischen sympathischen Aktivierung aufgrund einer

Hypoxämie (PREISWERK et al., 2022). METTE (2008) zeigte in ihrer Studie, dass die Sauerstoffpartialdruckwerte bei Narkosen mit Raumluft als Trägergas signifikant niedriger im Vergleich zu Sauerstoff als Trägergas sind. Bei Verwendung von 100 % Sauerstoff als Trägergas erhöht sich zudem die Konzentration des Inhalationsnarkotikums, da die Verdampfer nur mit Raumluft als Trägergas kalibriert werden (EBERSPÄCHER-SCHWEDA, 2020a). Dem gegenüber stehen die Ergebnisse von RÜDEBUSCH et al. (2022), bei denen der Einsatz von Raumluft zu signifikant weniger Schmerzreaktionen als bei der Verwendung von Sauerstoff führte. Eine Sauerstoffunterversorgung kann laut METTE (2008) zu einer Azidose führen, welche den Isofluranbedarf verringert, sodass folglich bei mit Raumluft anästhesierten Tieren das chirurgische Toleranzstadium schneller erreicht wird und diese Tiere tiefer anästhesiert waren und weniger Schmerzreaktionen zeigten. Die Ergebnisse von METTE (2008) zeigten einen erhöhten Isofluranbedarf und auch eine längere Dauer bis zum Erreichen des chirurgischen Toleranzstadiums bei Tieren, die mit Sauerstoff als Trägergas anästhesiert wurden. METTE (2008) begründete diese Tatsache in ihrer Studie mit den unterschiedlichen Geräteeinstellungen, da in ihrem Versuch der Frischgasfluss vom Raumluftgerät (10 l/min) wesentlich höher als beim Sauerstoffgerät (2 l/min) eingestellt war und somit das Narkosegas schneller in die Lungen der Tiere gelangte. Des Weiteren erklärte METTE (2008) dieses Ergebnis mit einer gewissen Rückatmung von Kohlendioxid und dessen anästhetischen Potenz. Auch wenn eine Anästhesie mit Kohlendioxid aus tierschutzrechtlichen Gründen nicht mehr zur Debatte steht, so stellten KOHLER et al. (1998) bei einer Inhalationsnarkose mit einer Mischung aus 80 % Kohlendioxid und 20 % Sauerstoff eine tiefere Anästhesie mit weniger Abwehrbewegungen während der Ferkelkastration als mit fünf prozentigem Halothan-Sauerstoff-Gemisch fest. Beide dieser Methoden sind nach aktueller Gesetzgebung obsolet. Die Verwendung von Raumluft oder Sauerstoff als Trägergas bei der automatisierten Isoflurannarkose konnte in dieser Studie nicht vergleichend evaluiert werden. Untersuchungen von RÜDEBUSCH et al. (2022) und PREISWERK et al. (2022) zeigten gegensätzliche Ergebnisse

bezüglich des Zusammenhangs von Narkosetiefe und der Verwendung des Trärgases, sodass hierfür noch weitere Studien nötig sind.

2.6. Einflüsse auf die Narkosetiefe

In dieser Studie wurden die Einflüsse von Alter (Betrieb 1 und Betrieb 2), Position im Gerät (Betrieb 1), Durchgang (Betrieb 1), Parität der Muttersauen (Betrieb 2), Kreuzung der Ferkel (Betrieb 2) und Anzahl belegter Stationen während der Kastration (Betrieb 2) auf die Narkosetiefe untersucht. Weder das Alter, die Position im Gerät, die Anzahl belegter Stationen während der Kastration, die Parität noch die Kreuzung beeinflussten die Narkosetiefe signifikant ($p > 0,05$). Auch bei HÄRTEL et al. (2021) hatten das Alter und die Position der Ferkel im Narkosegerät keinen signifikanten Einfluss auf die Narkosetiefe. In den Ergebnissen des Prüfberichts der DLG für den MS Pigsleeper wurden hingegen im Vergleich zu einer belegten Position geringere Isoflurankonzentrationen in den Masken bei Belegung mehrerer Stationen gemessen (DLG, 2020f). In dieser Studie konnte jedoch lediglich der Einfluss der Belegung der Stationen auf die Narkosetiefe untersucht und keine direkten Messungen der Narkosegaskonzentrationen durchgeführt werden. Das Gewicht der Ferkel und somit dessen Einfluss auf die Narkosetiefe wurde in dieser Untersuchung nicht erfasst. Allerdings zeigten HÄRTEL et al. (2021) und SCHWENNEN et al. (2016), dass bei Tieren mit höherem Gewicht die Wahrscheinlichkeit von Abwehrbewegungen während der Kastration steigt. So ist der Isofluranbedarf laut HODGSON (2006) gewichtsabhängig. Bei der automatisierten Isoflurannarkose fehlt jedoch eine individuelle Anpassung der Einleitungszeit und des Frischgasflusses an das Gewicht der Ferkel (SCHWENNEN et al., 2016). Außerdem können bei besonders kleinen oder großen Ferkeln die universellen Narkosemasken und Ferkelschalen unpassend sein und undicht abschließen, wodurch Isofluranverluste, folglich eine schlechtere Narkosetiefe und ein höheres Expositionsrisiko für die Anwender:innen resultieren können (SÄRE et al., 2011; STEIGMANN, 2013; SCHWENNEN et al., 2016; DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e; HÄRTEL et al., 2021; PREISWERK et al., 2022). In Untersuchungen von PREISWERK et al. (2022) passten ca. 25 % der untersuchten Tiere nicht in die standardmäßigen Halterungen und

Narkosemasken der untersuchten Narkosegeräte, wobei in der Studie Tiere im Alter von drei bis elf Tagen kastriert wurden. In der vorliegenden Untersuchung konnte kein signifikanter Einfluss der Genetik (Kreuzung) auf den Anteil der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe festgestellt werden ($p > 0,05$). Laut EBERSPÄCHER-SCHWEDA (2020c) hingegen kann die Empfindlichkeit gegenüber Anästhetika von der Rasse abhängen, so brauchen Hängebauchschweine geringere Dosierungen mancher Narkotika als andere Schweinerassen, wohingegen Yucatan und Yorkshire Schweine tendenziell höhere Dosen benötigen. In Untersuchungen von METTE (2008) hatten Miniaturschweine einen geringeren Isofluranverbrauch, allerdings war dieser Unterschied nicht statistisch signifikant. Zwischen den einzelnen Durchgängen auf Betrieb 1 mit dem PigletSnoozer waren die Unterschiede hinsichtlich der Narkosetiefe teilweise signifikant ($p \leq 0,05$). Diese Schwankungen des Anteils der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe zwischen den einzelnen Durchgängen könnte sich mit den nicht standardisierten Feldbedingungen erklären lassen. Als weiterer Grund für diese Schwankungen zwischen den Durchgängen könnten die andauernden technischen Probleme aufgeführt werden. Auch wenn nur Daten von Durchgängen ausgewertet wurden, bei denen das Gerät keine ersichtlichen Störungen hatte und das Gerät insgesamt drei Mal vom Herstellerservice kontrolliert wurde, lassen die Ergebnisse dennoch vermuten, dass dieses Gerät nicht einwandfrei funktionierte. Selbst bei der einmaligen Kastration mit einem PigletSnoozer Ersatzgerät des gleichen Herstellers im siebten Durchgang konnte bei nur 65,4 % der Ferkel eine ausreichende Narkose erzielt werden.

2.7. Weitere Einflussfaktoren auf die Narkosetiefe

Im Folgenden werden noch weitere Faktoren aufgezählt, die einen Einfluss auf die Narkosetiefe haben könnten, welche aber in dieser Studie nicht weiter untersucht werden konnten. So könnten sich der Umgang mit den Ferkeln und die Durchführung weiterer zootecnischer Maßnahmen im Zuge der Kastration eventuell negativ auf die Narkosetiefe auswirken. Den Studienergebnissen von ÜBEL et al. (2015) zufolge verstärken weitere zootecnische Maßnahmen neben der Kastration, wie Schwanzkupieren

und Einziehen einer Ohrmarke, die Schmerzbelastung bei der Kastration signifikant im Vergleich zur alleinigen Kastration. So raten GÄCKLER et al. (2021), dass am Tag der Kastration auf weitere zootecnische Maßnahmen verzichtet werden sollte, da sich zusätzlicher Stress und Schmerzen negativ auf die Narkosetiefe auswirken können. HENKE et al. (2012) beschreiben, dass Schmerz immer in Zusammenhang mit Angst und Stress gesehen werden muss und diese direkt voneinander abhängen, was laut den Autoren bedeutet, dass ein verängstigtes und gestresstes Tier im Vergleich zu einem ruhigen Tier einen schmerzhaften Reiz als schlimmer empfindet. SCHULZ et al. (2007) zeigten in ihrer Studie anhand Konzentrationsmessungen von Adrenalin und Noradrenalin im Blutplasma, dass die alleinige Fixation der Ferkel zur Kastration eine Stressbelastung für die Tiere darstellte. Jedoch erwies sich in der Untersuchung von SCHULZ et al. (2007), dass trotz der häufigen Abwehrbewegungen bei der Narkoseeinleitung die Tiere durch die Inhalationsnarkose selbst kaum gestresst wurden. In der Studie von PREISWERK et al. (2022) wurde vor dem Einlegen der Ferkel ins Isoflurannarkosegerät zur Kastration das Stresslevel anhand Abwehrbewegungen und Vokalisationen bestimmt. Dabei stellten PREISWERK et al. (2022) bei einem erhöhten präoperativen Stresslevelscore zwar keinen signifikanten Einfluss auf die Schmerzreaktionen beim Hautschnitt, jedoch signifikant weniger Abwehrbewegungen bei der Durchtrennung der Samenstränge fest. Die Autoren begründeten dieses Ergebnis mit einer stressinduzierten Analgesie. Diese Art der Analgesie wird durch die Aktivierung von absteigenden Hemmmechanismen im ZNS unter Beteiligung vieler Neurotransmitter und Neuropeptide vermittelt (BUTLER & FINN, 2009). Laut BUTLER und FINN (2009) kann die individuelle Sensitivität für stressinduzierte Analgesie stark variieren und wird von vielen Faktoren, u.a. auch dem Alter beeinflusst. Es bleibt offen, ob bei Ferkeln im Alter von unter acht Tagen eine stressinduzierte Analgesie vorkommt, da bei Neugeborenen die spinalen Hemmmechanismen noch nicht ausgereift sind (BENRATH & SANDKÜHLER, 2000; ERHARDT et al., 2012b).

Auch das betriebsindividuelle Zeitmanagement beim Einlegen der Ferkel ins Narkosegerät kann sich auf den Anteil der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe auswirken. Bei WINNER et al. (2022) und auch in dieser vorliegenden Studie fiel auf, dass nicht alle Tiere in dem gegebenen Zeitfenster kastriert werden konnten (aufgrund z. B. zusätzlicher Maßnahmen oder Verzögerungen während des Kastrationsprozesses) und diese Ferkel sich teilweise schon wieder in der Aufwachphase befanden, als sie dann kastriert wurden. WINNER et al. (2022) schlugen deshalb vor, nur so viele Ferkel in das Gerät einzulegen, wie in der vorgegebenen Zeitspanne sicher bewältigt werden können.

Des Weiteren können mögliche Undichtigkeiten im Narkosesystem die Funktionalität beeinflussen und eine verringerte Narkosegaskonzentration zur Folge haben und daraus resultierend eine unzureichende Narkosetiefe bei einem Teil der Ferkel bedingen. So fiel zum Beispiel bei den Überprüfungen des Narkosegerätes PigletSnoozer durch den Herstellerservice auf, dass die vorderen Kanten der Ferkelschale, welche die Narkosemaske mit dem gasführenden System verbinden, verbogen und undicht waren. Außerdem handelt es sich beim Material der Narkosemasken um Gummi, welches materialbedingt porös werden und somit auch Narkosegasverluste und schlechtere Anästhesien bedingen kann (ENZ et al., 2013). Auch muss berücksichtigt werden, dass sich Isofluran in Gummi löst und wohlmöglich eine sehr kleine Menge des Inhalationsnarkotikums in den Plastikschläuchen oder den Atembeutel bzw. den Narkosemasken zurückgehalten werden könnte, wodurch das Eintreten einer konstanten inspiratorischen Konzentration beeinträchtigt wird (LARSEN et al., 2022a).

Hinsichtlich der Überprüfung der Narkosefähigkeit der Ferkel sind die Landwirte und Landwirtinnen nach § 4 FerkBetSachkV dazu angehalten, vor der Narkoseeinleitung die Ferkel klinisch auf Narkosefähigkeit und normale anatomische Beschaffenheit und Lage der Hoden zu untersuchen. Hingegen erklären KUPPER und SPRING (2008), dass eine ausreichende Narkosetiefe nicht bei allen Ferkeln in der Praxis zu erreichen ist, da es u. a. für Landwirte und Landwirtinnen unter Feldbedingungen schwierig ist, einen optimalen Gesundheitszustand der zu kastrierenden Tiere

festzustellen. So kann beispielsweise bei unerkannten Atemwegserkrankungen die Aufnahme von Isofluran und damit die Wirksamkeit der Narkose eingeschränkt sein (KUPPER & SPRING, 2008). GÄCKLER et al. (2021) betonen, dass eine Grenze von 10 % an Ferkeln mit leichten Abwehrreaktionen nicht überschritten werden sollte und als tierschutzrelevant anzusehen ist. So ist es bei einem vermehrten Vorkommen von Wachzuständen wichtig, u. a. die Funktionalität zu überprüfen und ggf. Hilfe bei den bestandsbetreuenden Tierärzten und Tierärztinnen sowie beim Hersteller einzufordern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in der vorliegenden Untersuchung durch eine Kombination aus Optimierungsmaßnahmen der Anteil der Ferkel mit ausreichender Narkosetiefe auf gut 92 % erhöht werden konnte. Das Ziel, dass jedes einzelne Ferkel während der Kastration ausreichend anästhesiert ist, wurde nicht erreicht. Jedoch zeigen die Ergebnisse, dass Optimierungen nötig und möglich sind und die Narkosetiefe durch viele Faktoren, die in der vorliegenden Studie nicht alle untersucht werden konnten, beeinflusst wird. So sind weitere Felduntersuchungen nötig, um die Narkosetiefe bei der Saugferkelkastration unter automatisierter Isoflurannarkose unter Praxisbedingungen gezielt zu verbessern.

3. Narkosezwischenfälle und Verluste

LARSEN et al. (2022b) schreiben den Narkosesystemen bezüglich Narkosezwischenfällen eine herausragende Rolle zu und behaupten, dass eine große Zahl letaler Narkosekomplikationen auf vermeidbaren Funktionsstörungen von Narkosesystemen beruht. Zur Narkoseeinleitung durch Inhalation sind zu Beginn hohe Narkosegaskonzentrationen und ein hoher Frischgasfluss zum schnellen Erreichen einer angemessenen Anästhesie erforderlich (LARSEN et al., 2022a). Zu niedrige Konzentrationen des Inhalationsanästhetikums können erhebliche Exzitationen zur Folge haben (LARSEN et al., 2022a). LARSEN et al. (2022a) beschreiben, dass bei der Narkoseausleitung erneut ein Exzitationsstadium durchlaufen werden kann, insbesondere wenn bei

zunehmend flacher werdender Narkose weiterhin chirurgische Stimuli gesetzt werden. Hier ist die Gefahr für Komplikationen, wie Laryngo- oder Bronchospasmus und Husten besonders groß (LARSEN et al., 2022a).

Insgesamt lag in dieser Studie das Vorkommen von Narkosezwischenfällen bei 0,58 % ($n = 21/3589$). Diese Ergebnisse ähneln denen aus der Untersuchung von HÄRTEL et al. (2021), in der bei 0,9 % der Ferkel ein Narkosezwischenfall zu beobachten war. Bei BURREN und JÄGGIN (2008) kam es bei keinem der 181 kastrierten Tiere zu einem Narkosezwischenfall. In der Studie von WINNER et al. (2022) trat bei 1,7 % der Ferkel ein Zwischenfall während der Narkose auf (WINNER et al., 2022). Der Grund für das häufigere Vorkommen von Narkosezwischenfällen bei WINNER et al. (2022) könnte an den bei manchen Geräten gemessenen, erhöhten Isoflurankonzentrationen in den Narkosemasken von teilweise über 5 Vol.-% liegen. Aufgeteilt nach Geräten wurden in der vorliegenden Untersuchung bei den Kastrationen mit dem PigletSnoozer ($n = 2002$) keine Zwischenfälle dokumentiert, während mit dem MS Pigsleeper zu 0,58 % ($n = 8/1378$) Zwischenfälle eintraten. Entgegen den Erwartungen bedingte eine verlängerte Einleitungszeit von 90 Sekunden in den Durchgängen 15-17 bei Kastrationen mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper keine vermehrten Narkosezwischenfälle ($n = 0/221$). Hingegen wurden bei den Anästhesien mit dem Narkosegerät PorcAnest 3000® in dieser Studie bei einer Einleitungszeit von 90 Sekunden sogar bei 6,22 % der Ferkel ($n = 13/209$) Zwischenfälle vermerkt. Bei HÄRTEL et al. (2021) lag die Zahl der Zwischenfälle mit dem Gerät PorcAnest 3000® und der gleichen Einleitungszeit von 90 Sekunden und zusätzlicher Isofluranströmung während der Kastration nur bei 0,9 %. WINNER et al. (2022) verzeichneten hingegen 2,8 % Zwischenfälle bei den Kastrationen mit dem PorcAnest 3000® bei einer Einleitungszeit von 70 Sekunden und einer anschließenden Erhaltungszeit von 20 weiteren Sekunden. So zeigen die Ergebnisse von HÄRTEL (2021), dass bei dem Narkosegerät PorcAnest 3000® nach einer Verlängerung der ursprünglichen Einleitungszeit von 90 Sekunden um weitere 30 Sekunden das Risiko für

Narkosezwischenfälle um den Faktor 2,3 steigt. Die im Vergleich zu den Untersuchungen von WINNER et al. (2022) und HÄRTEL et al. (2021) stark erhöhte Zahl der Zwischenfälle bei Narkosen mit dem PorcAnest 3000® in der vorliegenden Studie könnte mit möglicherweise erhöhten Narkosegaskonzentrationen (über 5 Vol.-%) zusammenhängen, die allerdings in diesem Fall nicht überprüft wurden. HÄRTEL (2021) konnte hingegen bei einer Verlängerung der Einleitungszeit um 30 Sekunden beim Narkosegerät PigNap® keine signifikant vermehrten Zwischenfälle beobachten. Bei diesem Gerät gelangt das Narkosegas-Luft-Gemisch allerdings nicht mittels Überdruck in die Narkosemaske, sondern mithilfe einer Elektropumpe in einen vorgeschalteten Atembeutel, aus dem die Ferkel dann aktiv das Narkosegas-Gemisch einatmen (DLG, 2020d). So kann generell bei einer Verlängerung der Einleitungszeit nicht automatisch auf das Vorkommen von vermehrten Zwischenfällen geschlossen werden und ist eventuell vom Gerät abhängig. In der vorliegenden Studie konnte jedes Ferkel, das einen Zwischenfall während der Narkose erlitt durch Ergreifen von Gegenmaßnahmen (Trennen von der Narkosegaszufuhr, Schwenken, Kaltwasserguss und/oder Herzdruckmassage), stabilisiert werden und zurück zur Muttersau gesetzt werden. Dieses Ergebnis unterstreicht die Wichtigkeit eines schnellen Erkennens von Narkosezwischenfällen und dem sofortigen Ergreifen von Gegenmaßnahmen.

Es kam in dieser Studie zu keinen Ferkelverlusten während der Kastration. Die Verlustrate bis 24 Stunden nach der Kastration lag bei 0,22 % (n = 8/3589) und ist vergleichbar mit den Ergebnissen von HÄRTEL et al. (2021) und WINNER et al. (2022) (0,0 % und 0,1 %). In den Untersuchungen von BURREN und JÄGGIN (2008), JÄGGIN und BURREN (2008) und SCHWENNEN et al. (2016) kam es zu keinen Verlusten im Rahmen der Kastration und auch bei ENZ et al. (2013) lag die Verlustrate unter 0,1 %. Auf Betrieb 1 verendeten in der vorliegenden Studie 0,35 % der Ferkel (n = 7/2002) innerhalb 24 Stunden nach der Kastration. Drei Ferkel davon starben durch Erdrücken der Muttersau, vier Ferkel verendeten aufgrund einer unerkannten *Hernia scrotalis*. Auf Betrieb 2 lag die Mortalitätsrate binnen 24 Stunden nach der Kastration bei 0,06 %,

wobei die genaue Todesursache hier unbekannt ist ($n = 1/1587$). Die Zahl der Ferkelverluste aufgrund unerkannter Hodensackbrüche kann durch eine gründliche vorherige Untersuchung der anatomischen Verhältnisse verringert werden. Die Todesursachen der Ferkel in dieser Studie sind folglich nicht explizit der Inhalationsnarkose zuzuschreiben. Bei WINNER et al. (2022) wurden in den betäubungslosen Durchgängen im Jahr 2020 eine Mortalitätsrate von 0,4 % innerhalb 24 Stunden nach der Kastration und bei den Durchgängen unter Inhalationsanästhesie 0,1 % festgestellt. Die Ergebnisse aus dieser Studie und den vorherigen Projekten (HÄRTEL et al., 2021; WINNER et al., 2022) zeigen, dass bei einer korrekt ausgeführten Inhalationsnarkose und bei funktionierenden Narkosegeräten mit keinen erhöhten Mortalitätsraten im Vergleich zur betäubungslosen Kastration zu rechnen ist.

4. Isofluranverbrauch und Filtergewichtszunahme

Sowohl aus Gründen der Arbeitssicherheit als auch aufgrund der Umweltbelastung und Wirtschaftlichkeit sowie der Kontrolle der Gerätefunktion wurde der Isofluranverbrauch und die Filtergewichtszunahme bestimmt. Der Narkosegasverbrauch wurde pro Durchgang ermittelt, wobei die Methodik auf Betrieb 2 beim Narkosegerät MS Pigsleeper mehrmals adaptiert wurde (siehe III.2.4.4).

4.1. PigletSnoozer

Der durchschnittlich errechnete Isofluranverbrauch vom Narkosegerät PigletSnoozer lag bei $0,41 \pm 0,06$ ml/Ferkel. Ein sehr ähnliches Ergebnis von 0,34 ml Isofluranverbrauch pro Ferkel wurde mit diesem Gerät bei der Prüfung zur Zertifizierung erzielt (DLG, 2020g). Auch der Hersteller gibt einen Verbrauch von ungefähr 0,4 ml pro Ferkel an (GFS-TOP-ANIMAL-SHOP, 2020). Im Vergleich zu anderen Geräten aus Untersuchungen von WINNER et al. (2022) ist der Isofluranverbrauch beim PigletSnoozer als gering einzustufen (PigNap®: 0,43 ml/Ferkel, PorcAnest 3000®: 0,57 ml/Ferkel, Anestasia: 0,83 ml/Ferkel). Der PigletSnoozer wurde in dieser Studie mit medizinischem Sauerstoff betrieben. Dies hat zwar laut EBERSPÄCHER-SCHWEDA (2020a) Auswirkungen auf die Konzentration

des Inhalationsnarkotikums, da sich diese bei Verwendung von 100 % Sauerstoff erhöht, nicht aber auf den Verbrauch, weil sich die Einstellungen am Verdampfer mit 5 Vol% und der Frischgasfluss von 2 l/min von anderen Geräten, die mit Raumluft betrieben werden, nicht unterscheiden. So erzielte das Narkosegerät PigNap®, welches in den Untersuchungen von WINNER et al. (2022) mit Raumluft betrieben wurde vergleichbare Werte (0,43 ml pro Ferkel) wie der mit Sauerstoff betriebene PigletSnoozer in dieser Studie (0,41 ml pro Ferkel). Die Filtergewichtszunahme beim PigletSnoozer lag bei durchschnittlich $0,22 \pm 0,08$ g pro Ferkel und liegt somit weit unter den Ergebnissen des DLG-Prüfberichts, welcher eine Filtergewichtszunahme von 0,60 g pro Ferkel angibt (DLG, 2020g). In der vorliegenden Studie lag der prozentuale Anteil von Isofluran im Filter beim PigletSnoozer bei nur durchschnittlich 34 %. Diese Ergebnisse ließen auf eventuelle Undichtigkeiten im System schließen. So wurden durch Überprüfung des Servicedienstes an einer Maske, an einer Absaugeschlauch-Verbindung sowie am Aktivkohlefilter Leckagen identifiziert und korrigiert. Auch ein unkorrektes Einlegen, vor allem bei sehr unruhigen Ferkeln, und damit einhergehende Narkosegasverluste in die Umwelt, und nicht in den Aktivkohlefilter, können eine Rolle spielen. Allerdings wurden auf diesem Betrieb keine vermehrten Probleme beim Einlegen der Ferkel festgestellt. Eventuell kann auch ein zu rasches Entnehmen der Ferkel nach der Narkose ursächlich für die hier geringen Filtergewichtszunahmen sein, da das abgeatmete Isofluran somit nicht mehr abgesaugt wird und folglich in die Umwelt gelangt. Tatsächlich wurden auf Betrieb 1 (PigletSnoozer) die Ferkel sofort nach Beendigung der Kastration aus dem Gerät entfernt und die Wunddesinfektion durch den:die Transporteur:in beim Ablegen des Ferkels in die Aufwachkiste durchgeführt. Auch die auf diesem Betrieb erfolgte individuelle Anpassung der Narkosegasabsaugung aus der Aufwachkiste könnte an den geringen Filtergewichtszunahmen beteiligt sein. Diese Adaptation der Absaugung aus der Ferkelbox war provisorisch und möglicherweise undicht oder ineffektiv. Vor allem aufgrund der geringen Filtergewichtszunahmen und des geringen prozentualen Anteils von Isofluran im Filter sind für das Narkosegerät PigletSnoozer noch weitere Untersuchungen erforderlich.

4.2. MS Pigsleeper

Die Ergebnisse vom Narkosegerät MS Pigsleeper auf Betrieb 2 wurden nach Optimierungsmaßnahmen zusammengefasst dargestellt; auch Ausreißer wurden miteinbezogen. Aufgrund der teilweise sehr wenigen Durchgänge pro Optimierung können Ausreißer die jeweiligen Mittelwerte verzerren. So lassen sich stark abweichende Werte u.a. durch die Methodik selbst, Erhebung durch unterschiedliche Personen (Anwender:in oder Mitarbeiter:in der Klinik für Schweine), unerkannte Narkosegasverluste während der Lagerung und Reparaturarbeiten durch den Herstellerservice erklären und sind nicht klar auf die jeweilige Optimierungsmaßnahme zurückzuführen. Aus diesen Gründen erfolgte keine statistische Auswertung des Einflusses der Optimierungen auf den Isofluranverbrauch, die Filtergewichtszunahme und den prozentualen Anteil von Isofluran im Filter. Nach Angaben des Servicedienstes des Herstellers ist das Belassen des Narkosegases im Verdampfer nach der Kastration erlaubt. Es fiel der/dem Anwender:in des MS Pigsleeper während der Lagerung der stechende Geruch von Isofluran ums Gerät herum auf. Daraufhin wurde die Erfassung vom Isofluranverbrauch und von Narkosegasverlusten optimiert und folglich die Verdampferfüllung sowohl vor der Kastration (nach der Lagerung) als auch nach der Kastration ermittelt. Dabei wurden in den letzten sechs Durchgängen durchschnittliche Isofluranverluste von $12,31 \pm 9,67$ ml während der Lagerung (1 bis 2 Wochen Standzeit) ermittelt. Daraufhin wurde der Herstellerservice kontaktiert und das Gerät während des vierzehnten Durchgangs auf Leckagen untersucht, jedoch konnte keine direkte Undichtigkeit/Fehlfunktion aufgedeckt werden und das Gerät wurde als funktionierend eingestuft. Sowohl aus Sicht des Arbeits- und Umweltschutzes als auch der Wirtschaftlichkeit bedarf es jedoch unbedingt weiteren Untersuchungen bezüglich der Dichtigkeit von Verdampfern bzw. den automatisierten Isoflurannarkosegeräten generell.

Beim Narkosegerät MS Pigsleeper lag der Isofluranverbrauch in den ersten sechs Durchgängen bei $1,01 \pm 0,09$ ml/Ferkel, wobei diese Werte nicht als Ausgangswerte dienen können und ein Vergleich aufgrund der unterschiedlichen Methode des Erhebens des Isofluranverbrauchs schwerfällt. Die Filtergewichtszunahme betrug in diesen ersten sechs

Durchgängen $0,51 \pm 0,08$ g/Ferkel und der prozentuale Anteil von Isofluran im Filter lag bei nur 33 %. Während der ersten Optimierungsmaßnahme (Verringerung der Ventilatorgeschwindigkeit von 30 % auf 20 %, zwei Durchgänge) konnte ein Isofluranverbrauch von $0,76 \pm 0,23$ ml/Ferkel und eine Filtergewichtszunahme von $0,78 \pm 0,09$ g/Ferkel verzeichnet werden, was einem prozentualen Anteil von 70 % des verbrauchten Isofluran im Filter entsprach. Nach Umsetzung der zweiten Optimierungsmaßnahme und dem Anbringen der externen Wärmequelle in den folgenden drei Durchgängen konnte ein Isofluranverbrauch von $0,67 \pm 0,06$ ml/Ferkel und eine Filtergewichtszunahme von $0,71 \pm 0,12$ g/Ferkel berechnet werden, wodurch ein prozentualer Anteil von 71 % des Isoflurans im Filter resultierte. Als dritte Optimierung wurde die Ventilatorgeschwindigkeit von 20 % auf 35 % erhöht inklusive der Wärmequelle in drei Durchgängen. Dabei lag der Isofluranverbrauch bei $0,80 \pm 0,40$ ml/Ferkel, die Filtergewichtszunahme bei $0,76 \pm 0,12$ g/Ferkel und der prozentuale Anteil vom Isofluran im Filter bei 76 %. Die große Standardabweichung von $0,40$ ml/Ferkel beim Isofluranverbrauch während dieser Optimierungsmaßnahme lässt sich weniger durch die Optimierung selbst, sondern durch Überprüfung durch den Herstellerservice während des vierzehnten Durchgangs erklären. Dabei wurde der Verdampfer komplett auseinandergebaut. Da die Isofluranverluste während der Reparatur nicht separat erhoben wurden, könnte dies den Ausreißer hier erklären. Während der vierten Optimierungsmaßnahme (Verlängerung der Einleitungszeit auf 90 Sekunden bei gleicher Ventilatoreinstellung von 35 % inklusive der Wärmequelle) lag der Isofluranverbrauch bei $0,66 \pm 0,17$ ml/Ferkel, die Filtergewichtszunahme bei $0,95 \pm 0,13$ g/Ferkel und der prozentuale Anteil vom Isofluran im Filter bei 98 %. So zeigte sich in dieser Untersuchung, dass der Isofluranverbrauch des MS Pigsleeper durch die durchgeführten Optimierungen von durchschnittlich $1,01$ ml/Ferkel (DG 1-5) kontinuierlich auf im Mittel $0,66$ ml/Ferkel (DG 15-17) reduziert, und die Filtergewichtszunahme von durchschnittlich $0,51$ g/Ferkel (DG 1-5) auf $0,95$ g/Ferkel (DG 15-17) erhöht werden konnte. Ebenfalls wurde der zu Beginn der Untersuchung sehr geringe prozentuale Anteil von Isofluran im Filter von 33 % (DG 1-5)

auf 98 % (DG 15-17) erhöht. Laut den Ergebnissen des DLG-Prüfberichts wurde beim MS Pigsleeper ein geringerer Isofluranverbrauch von 0,45 ml/Ferkel und eine geringere Filtergewichtszunahme von 0,52 g/Ferkel ermittelt (DLG, 2020f). Man geht davon aus, dass die relative Luftfeuchte im Stall das Filtergewicht beeinflusst (DLG, 2020f). Raumluft bringt eine gewisse Luftfeuchtigkeit und auch Stallstaub mit sich, wodurch die Aktivkohlefilter mehr an Gewicht zunehmen können. So könnten sich die generell höheren Filtergewichtszunahmen und prozentualen Anteile von Isofluran im Filter beim MS Pigsleeper im Vergleich zum PigletSnoozer durch den Betrieb mit Raumluft erklären lassen. Auch könnte der höhere Isofluranverbrauch in dieser Studie im Vergleich zu den DLG-Prüfergebnissen mit weiteren Undichtigkeiten im System erklärt werden. Außerdem wurden manuelle Verlängerungen der Einleitungszeit nicht berücksichtigt, aber dennoch häufig beobachtet. Anders als vermutet nahm der Isofluranverbrauch pro Ferkel bei einer Verlängerung der Einleitungszeit auf 90 Sekunden (Optimierung 4) nicht zu. Dies könnte damit begründet werden, dass bei einer Einleitungszeit von 90 Sekunden seltener die Narkoseeinleitung manuell verlängert werden musste, z. B. aufgrund positivem Zwischenklauenreflex, was in dieser Studie aber nicht weiter untersucht wurde.

4.3. PorcAnest 3000®

Bei den Kastrationen mit dem PorcAnest 3000® lag der durchschnittliche Isofluranverbrauch in dieser Studie bei $0,60 \pm 0,01$ ml/Ferkel, die Filtergewichtszunahme bei $0,62 \pm 0,04$ g/Ferkel und der prozentuale Anteil des Isofluran im Filter bei 69 %. Dieses Ergebnis des Narkosegasverbrauchs ist vergleichbar mit dem von WINNER et al. (2022), bei denen ein Isofluranverbrauch von 0,61 ml/Ferkel berechnet wurde. In den Untersuchungen der DLG mit diesem Gerät wurde hingegen ein Isofluranverbrauch von nur 0,53 ml/Ferkel und Filtergewichtszunahmen von 0,54 g/Ferkel ermittelt (DLG, 2020f). Dagegen wurde in der Studie von ENZ et al. (2013) bei den Narkosegeräten PigNap®, PorcAnest 3000® und MS Pigsleeper ein durchschnittlicher Isofluranverbrauch von 0,88 ml/Ferkel errechnet, wobei die Geräte in dieser Studie nicht der

aktuellen Technik der jetzt auf dem Markt erhältlichen, durch die DLG zertifizierten Geräte entsprechen.

Der Isofluranverbrauch und die Filtergewichtszunahme pro Ferkel interessieren nicht nur aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, sondern können auch einen wichtigen Hinweis auf Undichtigkeiten im Narkosesystem liefern. Deshalb sollte der Isofluranverbrauch, die Filtergewichtszunahme und der prozentuale Anteil des Isofluran im Filter bei jeder Kastration ermittelt werden, um die Gerätefunktion zu kontrollieren. Der prozentuale Anteil von Isofluran im Filter sollte möglichst hoch sein, da Isofluran als Gefahrstoff gilt und für die Anwender:innen und die Umwelt eine potenziell toxische Belastung darstellt (KUPPER & SPRING, 2008; SULBAEK ANDERSEN et al., 2010; LOSCAR et al., 2019; DGUV, 2022a). Für eine bessere Abschätzung dieser Werte, vor allem auch des prozentualen Anteils von Isofluran im Filter bedarf es weiterer Untersuchungen.

5. Arbeitszeit

In diesen Untersuchungen wurden sämtliche Arbeitszeiten (in Minuten) für Tätigkeiten, die im Rahmen der Kastration durchgeführt wurden, unter Berücksichtigung der beteiligten Personenzahl erhoben und deskriptiv dargestellt. Da Vorbereitungen, Auf- und Abbau vom Gerät sowie Reinigung und Desinfektion des Gerätes immer nur von einer Person erledigt wurden, wurden diese als Gesamtzeiten unabhängig von der kastrierten Tierzahl aufgeführt. Die Arbeitszeiten für Analgesie und Kastration hängen von der Zahl der kastrierten Tiere und der Personenzahl ab und wurden separat in Dauer pro Ferkel und in Dauer pro Ferkel pro Person angegeben. Die Vorbereitungszeit pro Durchgang betrug im Mittel $7,8 \pm 4,7$ Minuten auf Betrieb 1 bzw. $2,5 \pm 0,5$ Minuten auf Betrieb 2. Der Zeitunterschied könnte aufgrund der unterschiedlichen zootechnischen Maßnahmen auf beiden Betrieben sowie der Ferkelzahl pro Durchgang begründet werden. Dabei wurde sich auf Betrieb 1 auf das Einziehen der Ohrmarken bei den männlichen und weiblichen Tieren bei gut 42 Würfen pro Durchgang vorbereitet, was die längere Dauer erklären könnte. Auch

der Aufbau unterschied sich auf Betrieb 1 mit durchschnittlich $15,2 \pm 6,8$ Minuten von $9,7 \pm 5,1$ Minuten auf Betrieb 2. Dies lässt sich durch die Geräteunterschiede und den individuellen Zusammenbau erklären, was sich bei dem Narkosegerät PigletSnoozer generell als aufwändiger darstellt. Bei WINNER et al. (2022) betrug die Vorbereitungszeit durchschnittlich 17,3 Minuten, wobei hier auch der Aufbau des Gerätes inkludiert ist. Auch bei der Reinigung und Desinfektion gab es auf beiden Betrieben große Unterschiede, so betrug dieser Arbeitsschritt auf Betrieb 1 im Mittel $32,2 \pm 5,3$ Minuten und auf Betrieb 2 durchschnittlich $9,0 \pm 2,9$ Minuten. Hier sind auch wieder die Unterschiede der Geräte und deren Vorbereitung für Reinigung und Desinfektion zu berücksichtigen. Das Abbauen der Geräte nahm auf beiden Betrieben mit ca. 6,4 Minuten in etwa gleich viel Zeit in Anspruch (Betrieb 1: $6,6 \pm 2,3$ Minuten, Betrieb 2: $6,2 \pm 4,3$ Minuten). Bei der Applikation des NSAIDs war die benötigte Arbeitszeit auf beiden Betrieben vergleichbar mit $0,5 \pm 0,1$ Minuten pro Ferkel (Betrieb 1 und 2) bzw. $1,0 \pm 0,1$ Minuten (Betrieb 1) und $1,1 \pm 0,2$ Minuten (Betrieb 2) pro Ferkel und Person. Die unterschiedliche Arbeitszeit pro Ferkel und Person für die Analgesie auf Betrieb 2 lässt sich durch die Durchführung der Schmerzmittelapplikation durch teilweise drei Personen an manchen Durchgängen erklären. Die Kastrationen auf Betrieb 1 waren mit durchschnittlich $0,5 \pm 0,1$ Minuten pro Ferkel ($1,0 \pm 0,1$ Minuten pro Ferkel Person) doppelt so schnell als auf Betrieb 2 mit mittleren Kastrationszeiten von $1,0 \pm 0,1$ Minuten pro Ferkel ($2,1 \pm 0,1$ Minuten pro Ferkel pro Person). Dieser Unterschied lässt sich mit der Aufgabenverteilung und dem betriebsindividuellen Kastrationsmanagement erklären. So übernahm auf Betrieb 1 der:die Kastrateur:in nur die Kastration an sich, wohingegen auf Betrieb 2 die kastrierende Person zusätzlich die Wunddesinfektion und das Kupieren der Schwänze durchführte. Außerdem wurden auf Betrieb 1 kontinuierlich alle Positionen im Gerät belegt. Das heißt, sobald ein fertig kastriertes Ferkel entnommen wurde, wurde sofort wieder ein neues Ferkel eingelegt und der:die Kastrateur:in ist gleich zur Kastration des nächsten Ferkels übergegangen. Auf Betrieb 2 wurden meist drei Ferkel ins Gerät eingelegt und nach der Reihe kastriert, wobei nicht sofort wieder ein neues Ferkel nach erfolgter Kastration an der einen Position eingelegt wurde, sondern

erst alle im Gerät liegenden Ferkel kastriert und dann erst wieder die Positionen neu belegt wurden. Die Gesamtarbeitszeit pro Ferkel betrug $0,8 \pm 0,7$ Minuten auf Betrieb 1 ($2,0 \pm 0,3$ Minuten pro Ferkel pro Person) und $1,4 \pm 0,8$ Minuten auf Betrieb 2 ($3,3 \pm 0,3$ Minuten pro Ferkel pro Person). Dieser Unterschied lässt sich durch die sehr kurzen Kastrationszeiten und der größeren Anzahl an Würfeln pro Durchgang auf Betrieb 1 im Vergleich zu Betrieb 2 erklären. Auch in den Untersuchungen von WINNER et al. (2022) und WEBER et al. (2014) wurden durchschnittlich 0,5 Minuten bzw. 0,9 Minuten pro Ferkel für die Analgesie und 1,0 Minuten bzw. 1,2 Minuten pro Ferkel für die Kastration ermittelt. Die Werte für die Kastrationsdauer von WINNER et al. (2022) unter Inhalationsanästhesie unterschieden sich nicht signifikant von den betäubungslosen Vergleichsdurchgängen (0,9 Minuten pro Ferkel). Allerdings zeigen die Ergebnisse von WINNER et al. (2022) signifikante Unterschiede bezüglich des gesamten Kastrationsprozesses mit Betäubung (2,2 Minuten pro Ferkel) und ohne Betäubung (1,7 Minuten pro Ferkel). Damit stellten WINNER et al. (2022) dar, dass nicht die Kastration an sich, sondern die Tätigkeiten mit dem Narkosegerät selbst die Arbeitsdauer bei einer Kastration mit Inhalationsnarkose im Vergleich zu betäubungsloser Kastration erhöhen. In den Untersuchungen von KUPPER und SPRING (2008) wurde ein durchschnittlicher Zeitaufwand von 1,6 Minuten pro Ferkel ermittelt und liegt damit zwischen den Werten von der vorliegenden Studie und denen aus den Untersuchungen von WINNER et al. (2022). Ähnliche Ergebnisse bei der betäubungslosen Kastration ermittelten SCOLLO et al. (2021) mit 1,3 Minuten pro Ferkel. WEBER et al. (2014) zeigten in ihren Untersuchungen eine Arbeitszeit von durchschnittlich knapp 3 Minuten pro Ferkel, wobei hier nicht klar hervorgeht, ob die Personenzahl miteinbezogen wurde. ENZ et al. (2013) ermittelten einen zeitlichen Aufwand für den gesamten Prozess von sogar 4,3 Minuten pro Ferkel unter Feldbedingungen. Die Betriebe waren allerdings aufgrund Schweizer Verhältnisse klein, wodurch sich dieser große Zeitaufwand erklären lassen könnte. Bei WENGER et al. (2002) betrug der mittlere Zeitaufwand für die Kastration mit Halothannarkose 2,3 Minuten pro Ferkel und ohne Narkose 1,3 Minuten pro Ferkel. Hier wurde allerdings immer nur ein Ferkel anästhesiert und nicht gleichzeitig

mehrere Ferkel ins Gerät eingelegt, was den Unterschied zu dieser Studie erklärt.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich im Vergleich zu betäubungslos kastrierten Durchgängen von WINNER et al. (2022) die reine Kastrationszeit unter Isoflurannarkose kaum voneinander unterscheidet. Die benötigte Arbeitszeit für die einzelnen Prozesse im Rahmen der Kastration sind betriebsindividuell und hängen auch von zusätzlich durchgeführten Maßnahmen ab. Zusammenfassend kann neben dem erhöhten Zeitaufwand festgehalten werden, dass die Saugferkelkastration unter automatisierter Isoflurannarkose im Vergleich zur betäubungslosen Kastration auch eine Anpassung der Arbeitsabläufe erfordert. So sind mindestens zwei Personen bei der Durchführung nötig; eine Person, die die Ferkel narkotisiert und kastriert und eine zweite Person, die die Ferkel zum Gerät bzw. zur Muttersau transportiert (WENGER et al., 2002; GÄCKLER et al., 2021).

6. Isoflurankonzentration am Arbeitsplatz

Um den Anwenderschutz während der Saugferkelkastration unter automatisierter Isoflurannarkose zu evaluieren, wurde zusammen mit TÜV SÜD Industrie Service GmbH (Mannheim) die Narkosegaskonzentration am Arbeitsplatz gemessen. Die Messungen erfolgten in drei Durchgängen pro Betrieb. Da es in Deutschland noch keinen empfohlenen Grenzwert am Arbeitsplatz gibt, galt der weltweit am niedrigsten geltende Arbeitsplatzgrenzwert von 15 mg/m^3 (Kanada, Israel) als Bewertungsmaßstab. Die Messungen wurden in der Atemluft der kastrierenden Person und der ferkeltransportierenden Person sowie an potenziell emissionsreichen Stellen am Gerät und Arbeitsplatz (zwischen den Narkosemasken, am Aktivkohlefilter und in der Aufwachbox) durchgeführt.

6.1. Personenbezogene Messungen

In der vorliegenden Studie lagen mit Ausnahme einer Messung beim PigletSnoozer auf Betrieb 1 alle personenbezogenen Messwerte unterhalb des Grenzwertes von 15 mg/m^3 . Bei der ersten Messung auf Betrieb 1 (PigletSnoozer) wurden an dem:der Kastrateur:in $73,5 \text{ mg/m}^3$ und an dem:der Transporteur:in $20,0 \text{ mg/m}^3$ Isofluran gemessen. Aufgrund der erhöhten Messergebnisse bei der ersten Messung wurden sowohl Leckagen am Gerät bei einer Überprüfung des Herstellers festgestellt und folglich beseitigt als auch die Luftzirkulation optimiert. So wurden Undichtigkeiten an einer Maske, an einer Absaugeschlauch-Verbindung sowie am Aktivkohlefilter identifiziert und korrigiert. Außerdem wurde ein Missverhältnis zwischen Zufluss und Absaugung festgestellt und angepasst. Die eingestellte Abluft-Flussrate von den Masken spielt hierbei eine entscheidende Rolle, da höhere Abluft-Flussraten die Narkosegasbelastung in der Umwelt reduzieren (SÄRE et al., 2011). In den beiden folgenden Messungen auf Betrieb 1 waren die Werte an der kastrierenden und an der transportierenden Person jeweils unter 2 mg/m^3 und unter 9 mg/m^3 . Bei WINNER et al. (2022) und HÄRTEL et al. (2021) wurden an den Personen durchschnittliche Werte von 6 mg/m^3 bzw. 11 mg/m^3 (Kastrateur:in) und jeweils 5 mg/m^3 (Transporteur:in) ermittelt. RIETHMÜLLER und STRÖKER (2020) maßen bei ihren Untersuchungen im Rahmen von zwei Projekten der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG) bei 11 von 51 personenbezogenen Messungen erhöhte Narkosegaskonzentrationen ($< 4\text{--}56 \text{ mg/m}^3$) (Bewertungsmaßstab: 15 mg/m^3) im Atembereich der beteiligten Personen. In den Untersuchungen von ENZ et al. (2013) auf Feldbetrieben in der Schweiz waren bei Isofluranmessungen auf 19 Betrieben die Messwerte im Median bei $2,5 \text{ ppm}$, davon waren zwei Betriebe über dem in der Schweiz gültigen Grenzwert von 10 ppm (entspricht 77 mg/m^3). Allerdings geht in der Studie von ENZ et al. (2013) nicht hervor, ob die verwendeten Geräte über einen Aktivkohlefilter verfügten oder die Abluft in die Umwelt geleitet wurde, was einen Vergleich somit schwer macht. Den Umfrageergebnissen von GÄCKLER et al. (2021) zufolge verspürten 30 % der Befragten Kopfschmerzen, Schwindelgefühl, Übelkeit,

Abgeschlagenheit und/oder andere Symptome im Zusammenhang mit der Ferkelkastration unter Isoflurannarkose. Die genannten Beschwerden können Nebenwirkungen von Isofluran sein, können aber auch andere Ursachen haben, was in der Umfrage aber nicht näher eruiert wurde.

6.2. Messung an emissionsgefährdeten Stellen am Arbeitsplatz

Die Ergebnisse an den Narkosemasken ergaben in dieser Studie beim PigletSnoozer und MS PigSleeper einen Mittelwert von $93,2 \pm 76,3 \text{ mg/m}^3$ bzw. $700,6 \pm 432,1 \text{ mg/m}^3$. Die Werte auf Betrieb 1 (PigletSnoozer) konnten nach der ersten Messung ($177,3 \text{ mg/m}^3$) durch die oben genannten Maßnahmen (Optimierung der Lüftung, Beseitigung von Undichtigkeiten) verbessert werden (2. Messung: $28,4 \text{ mg/m}^3$, 3. Messung: $74,0 \text{ mg/m}^3$). Jedoch stiegen auf Betrieb 2 (MS Pigsleeper) die Messwerte zwischen den Narkosemasken trotz ausreichender Lüftung und Geräteüberprüfung durch den Hersteller kontinuierlich an (1. Messung: $208,5 \text{ mg/m}^3$, 2. Messung: $875,6 \text{ mg/m}^3$, 3. Messung: $1017,7 \text{ mg/m}^3$). Obwohl bei der Überprüfung keine Gerätefehler auffielen, trugen vermutlich Undichtigkeiten am Gerät zu diesen hohen Messwerten bei. Auch das Einlegen von sehr unruhigen Ferkeln, die sich in Einzelfällen aus der Maske entwendeten, können zu höheren Messwerten führen. Laut SÄRE et al. (2011) ist es bei nicht-sedierten oder unkooperativen Tieren schwierig einen optimal abgedichteten Sitz der Masken zu erreichen und somit ist eine erhöhte Arbeitsplatz- und Umweltbelastung sehr wahrscheinlich. Allerdings fielen bei der Anwendung durch Landwirte und Landwirtinnen keine Fehler in der Handhabung auf. ENZ et al. (2013) weisen darauf hin, dass bei zunehmendem Alter der Geräte und porösen Bauteilen aus Gummi (z. B. Narkosemasken) die Arbeitsplatzsicherheit nachlässt, vor allem dann, wenn keine regelmäßige Geräteprüfung durchgeführt wird. Allerdings wurden die Geräte in dieser Studie neu angeschafft und ein derartiger Verschleiß der Gummimasken ist unwahrscheinlich. Die hohen Werte an den Narkosemasken konnten in dieser Studie nicht endgültig erklärt werden. Bei WINNER et al. (2022) und HÄRTEL et al. (2021) wurden zwischen den Narkosemasken durchschnittliche Werte von 35 mg/m^3 und 28 mg/m^3 gemessen. Teilweise konnten bei den Messungen von RIETHMÜLLER und STRÖKER

(2020) erhöhte Isofluranwerte zwischen den Masken ($6,4 - > 17.000 \text{ mg/m}^3$) oder in der Verdampfereinheit ($< 4 - > 72.000 \text{ mg/m}^3$) festgestellt werden. Die Untersuchungen von RIETHMÜLLER und STRÖKER (2020) fanden 2018 und 2019 statt und somit noch vor Überarbeitung der Geräte, was die zum Teil sehr hohen Messwerte erklären könnte. Außerdem ging bei RIETHMÜLLER und STRÖKER (2020) nicht hervor, ob die Geräte über eine Absaugung am Narkosegerät verfügten.

An den Aktivkohlefiltern konnten Mittelwerte von $231,5 \pm 241,9 \text{ mg/m}^3$ (PigletSnoozer) und $13,8 \pm 2,5 \text{ mg/m}^3$ (MS Pigsleeper) gemessen werden. Die auf Betrieb 1 (PigletSnoozer) zuerst gemessenen hohen Werte von $169,6 \text{ mg/m}^3$ konnten zwar bei der folgenden Messung durch die oben genannten Maßnahmen (Abdichtung von Undichtigkeiten, vermehrte Lüftung) auf $26,6 \text{ mg/m}^3$ optimiert werden, jedoch hat sich der Wert bei der letzten Messung auf $498,4 \text{ mg/m}^3$ vervielfacht. Der letzte Messwert am Aktivkohlefilter konnte auch von Seiten der Techniker:innen nicht erklärt werden. Bei WINNER et al. (2022) und HÄRTEL et al. (2021) wurden am Aktivkohlefilter durchschnittliche Werte von je 7 mg/m^3 gemessen.

In den Aufwachboxen betragen die Ergebnisse durchschnittlich $49,2 \pm 24,5 \text{ mg/m}^3$ auf Betrieb 1 (PigletSnoozer) und $77,8 \pm 43,6 \text{ mg/m}^3$ auf Betrieb 2 (MS Pigsleeper). Der PigletSnoozer verfügte über eine zusätzliche Absaugung aus der Ferkelkiste, allerdings wurde der Schlauch für diese Absaugung in diesem Fall verlängert und die Geschwindigkeit der Absaugung erhöht, sodass diese Werte aufgrund der betriebsindividuellen Anpassung nur bedingt übertragbar sind. Auf Betrieb 1 waren die Aufwachkisten zusätzlich an den Seiten mit Schlitzen versehen, was den geringeren Wert dadurch erklären könnte, dass Isofluran durch die Schlitze in die Umwelt entweichen konnte und somit nicht in die Messung mit einging. Auf Betrieb 2 waren die Ferkelkisten seitlich geschlossen. Auch die Platzierung der Ferkel und der jeweilige Abstand der Ferkelrüssel zum Messröhrchen in der Kiste könnte den gemessenen Isofluranwert beeinflussen. Wenn Ferkel mit dem Rüssel direkt vor dem Messröhrchen platziert werden, können die gemessenen Isofluranwerte höher ausfallen, als wenn die Tiere beispielsweise mit dem

Schwanz zum Messröhrchen liegen. WINNER et al. (2022) vermuten, dass erhöhte Isofluranwerte in den Aufwachboxen durch erneutes Einatmen der Umgebungsluft mit erhöhter Isoflurankonzentration zu einem längeren Nachschlaf der Ferkel führen könnten. Außerdem ist von den Isoflurankonzentrationen in den Ferkelkisten die transportierende Person direkt betroffen, da sie sich meist über diese Kiste beugt, um die Ferkel wieder zur Sau zurückzubringen. Eine Absaugung aus der Ferkelkiste ist daher ein guter Ansatz, um dieses Problem zu minimieren. Bislang verfügt nur das Narkosegerät PigletSnoozer über diese Funktion (DLG, 2020g; GFS-TOP-ANIMAL-SHOP, 2020). Aufgrund der bedingten Aussagekraft der Absaugung des Narkosegerätes PigletSnoozer wegen betriebsindividuellen Anpassungen in dieser Studie kann die Wirksamkeit dieser nicht beurteilt werden. Bei WINNER et al. (2022) und HÄRTEL et al. (2021) wurden in der Aufwachkiste durchschnittliche Werte von 88 mg/m^3 und 16 mg/m^3 gemessen. Die Messungen in der Stallluft im Abferkelabteil, in der die Ferkel während ihrer Aufwachphase in Wannen platziert waren, ergaben bei RIETHMÜLLER und STRÖKER (2020) bei zwei von 16 Messungen Werte oberhalb des Grenzwertes von 15 mg/m^3 . Die niedrigeren Messwerte bei den Ferkeln in der Aufwachphase bei RIETHMÜLLER und STRÖKER (2020) im Vergleich zu den Ergebnissen dieser Studie lassen sich aller Wahrscheinlichkeit nach auf die Lokalisation der Messrohre auf der Buchtenabtrennung und nicht direkt in der Aufwachbox zurückführen.

In den Isofluranmessungen von KUPPER und SPRING (2008) sowie JÄGGIN und BURREN (2008) wurden bei personenbezogenen Messungen, bei Messungen am Gerät und in der Aufwachkiste im Durchschnitt der Schweizer Arbeitsplatzgrenzwert von 10 ppm (77 mg/m^3) nicht überschritten, wobei sie aufzeigen, dass es bei Unachtsamkeiten zu sehr hohen Kurzzeitbelastungen kommen kann (z. B. Ausschütten von Isofluran beim Befüllen des Verdampfers). SÄRE et al. (2011) verglichen die Isofluranexposition von Anästhesisten und Anästhesistinnen bei der Narkoseeinleitung mit Standard-Narkosemasken und mit Doppelmasken mit inkludierter Spülung/Absaugung. Dabei konnte bei Schweinen bei der Benutzung von Doppelmasken mit Absaugung eine signifikant verringerte

Exposition des Anästhesisten oder der Anästhesistin (MW: 344 mg/m³) im Vergleich zu einer Standardmaske (MW: 36 mg/m³) gemessen werden (SÄRE et al., 2011). Des Weiteren ist die Narkosegas-Exposition von Anästhesisten und Anästhesistinnen bei niedrigeren Frischgas-Flussraten geringer (IMBERTI et al., 1995). Zur Narkosegaseinleitung sind allerdings relativ hohe Flussraten nötig, um die gewünschte endtidale Konzentration vom Narkosegas zu erreichen (SÄRE et al., 2011; LARSEN et al., 2022a). RIETHMÜLLER und STRÖKER (2020) fordern, dass unabhängig von den individuellen Lüftungsverhältnissen die Geräte nachgebessert werden müssen, da die Ergebnisse ihrer Untersuchung bei stationären Messungen am Narkosegerät direkt auf Leckagen hinweisen.

So sollte das Ziel sein, die Absaugung und die Dichtigkeit des Gerätes so weit zu optimieren, dass auch bei unzureichender Belüftung eine geringe Arbeitsplatzexposition herrscht. Vor allem bei kalten Umgebungstemperaturen können sich eine erhöhte Luftwechselrate und die minimale Umgebungstemperatur am Gerät widersprechen. Aufgrund in dieser Untersuchung teilweise erhöhten Isoflurankonzentrationen am Arbeitsplatz sind weitere Untersuchungen und Optimierungen an den automatisierten Narkosegeräten nötig.

7. Mikrobiologische Untersuchungen der Narkosemasken

Die Saugferkelkastration mit automatisierten Narkosegeräten lässt erwarten, dass das Gerät und speziell die mit den Ferkeln in Kontakt stehenden Bauteile, vor allem die Narkosemasken, einen hohen Keimgehalt aufweisen und die Gefahr einer Keimübertagung unter den Ferkeln hoch ist. Auch die Art der Lagerung der Narkosemasken sowie Anzahl und Zeitpunkte der Reinigung und Desinfektion können hierbei von Bedeutung sein. So wurden in dieser Studie in Anlehnung an die Untersuchung von HÄRTEL et al. (2021) die Gesamtkeimzahlen mesophiler Bakterien sowie die Nachweishäufigkeit von MRSA und *E. coli* in den Narkosemasken zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Rahmen der Kastration, jeweils vor und nach Reinigung und Desinfektion untersucht.

Die Maskenbeprobungen fanden nach einem vorgegebenen Protokoll analog zu HÄRTEL et al. (2021) statt und wurden stets von der gleichen Person durchgeführt. Zusätzlich zu den Untersuchungen von HÄRTEL et al. (2021) wurde noch eine weitere Beprobung der Masken nach Reinigung und Desinfektion vor der Narkose eingebaut. Die Gesamtkeimzahlen mesophiler Bakterien lagen vor der Narkose vor Reinigung und Desinfektion im Mittel bei $1,51 \times 10^5$ und wurden durch eine Reinigung und Desinfektion vor der Kastration um 3 log-Stufen auf durchschnittlich $2,52 \times 10^2$ reduziert. Anhand dieser Ergebnisse ist eine Reinigung und Desinfektion nach der Lagerung vor der Benutzung des Gerätes zu empfehlen. Nach den Ferkelkastrationen stiegen die Gesamtkeimzahlen der Narkosemasken erwartungsgemäß an, übereinstimmend mit HÄRTEL et al. (2021) und WEBER et al. (2013). Nach den Kastrationen lagen die Gesamtkeimzahlen der beprobten Narkosemaske durchschnittlich bei $1,86 \times 10^7$ und nach durchgeführter Reinigung und Desinfektion bei $1,77 \times 10^2$, was eine Keimzahlreduktion um mehr als 5 log-Stufen darstellt. Die durchgeführten Reinigungen und Desinfektionen führten zu beiden Zeitpunkten zu einer Reduktion der GKZ pro Maske um mehr als 3 log-Stufen und sind deshalb als erfolgreich und sinnvoll einzustufen. In den Untersuchungen von HÄRTEL et al. (2021) senkten eine Reinigung und Desinfektion der verwendeten Masken die Gesamtkeimzahl durchschnittlich um mehr als 2 log-Stufen. Auch in der Studie von WEBER et al. (2013) konnten eine Reinigung und Desinfektion eine Keimzahlreduktion von zwei bis vier log-Stufen je nach beprobtem Material erzielen. Unabhängig von der Lagerung der Narkosemaske in einem abgeschlossenen Zip-Beutel (Betrieb 1) oder offen bei dem Gerät liegend (Betrieb 2) haben sich die Gesamtkeimzahlen pro Maske während der Lagerung auf beiden Betrieben um jeweils 3 log-Stufen erhöht. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass weniger die Kontamination während der Lagerung mit z. B. Stallstaub, sondern mehr die Ausgangskeimzahl zu Beginn der Lagerung die Keimbelastung beeinflussen könnte. Dies unterstreicht die Sinnhaftigkeit einer zusätzlichen Reinigung und Desinfektion vor der erneuten Benutzung. Ähnlich den Ergebnissen von HÄRTEL et al. (2021) konnten bis auf eine Ausnahme auf Betrieb 2 vor der Benutzung des Gerätes weder *E. coli* noch MRSA an den Masken

nachgewiesen werden. Der einmalige Nachweis von *E. coli* und MRSA an den Masken auf Betrieb 2 vor der Kastration kann durch eine eventuell unzureichende Reinigung und Desinfektion nach der vorherigen Kastration erklärt werden. Nach den Kastrationen wurden bei allen sechs Maskenbeprobungen sowohl *E. coli* als auch MRSA nachgewiesen. HÄRTEL et al. (2021) zeigen identische Ergebnisse bezüglich der Nachweishäufigkeiten von *E. coli* und MRSA jeweils vor und nach der Kastration. Das Vorkommen von ESBL (Extended Spectrum β -Lactamase) produzierenden *E. coli* wurde nicht detektiert. In den Untersuchungen von WEBER et al. (2013) wurde in 2,4 % bzw. 2,0 % der Proben vom Narkosegerät MRSA und *E. coli* nachgewiesen. Der in der vorliegenden Studie negative Nachweis von gramnegativen (*E. coli*) und grampositiven (MRSA) Indikatorbakterien vor der Narkose und der Nachweis von diesen nach der Narkose deuten darauf hin, dass die Narkosemasken durch die Ferkelrüssel mit *E. coli* und MRSA kontaminiert wurden. Nach Reinigung und Desinfektion konnten an diesen Masken weder *E. coli* noch MRSA nachgewiesen werden. MRSA stellt aufgrund seines zoonotischen Potenzials und seiner Resistenz gegen häufig verwendeten Antibiotika eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit dar (EFSA, 2009; KÖCK et al., 2009). Laut einer umfangreichen Studie der EFSA (2009) liegt die Prävalenz von MRSA-positiven Schweinehaltenden Betrieben in der EU bei 22,8 %. In Untersuchungen in Deutschland wurde das Vorkommen von MRSA sogar bei bis zu 70 % der regionalen Schweinebestände detektiert (KÖCK et al., 2009). FRIESE et al. (2013) erhielten ähnliche Ergebnisse und wiesen bei 33,3 % bzw. 73,3 % der schweinehaltenden Betriebe das Vorkommen von MRSA nach, und bei 56,3 % bzw. bei 43,8 % die Anwesenheit von ESBL produzierenden *E. coli* (Schweinezuchtbetrieb/Schweinemastbetrieb). Auch in den Untersuchungen von FISCHER et al. (2017) wurden MRSA und ESBL produzierende *E. coli* auf 49 % und 31 % der untersuchten Schweinebetriebe detektiert. Bei 85 % der Landwirte und Landwirtinnen konnte MRSA und bei 6 % ESBL produzierende *E. coli* in der Nase nachgewiesen werden (FISCHER et al., 2017). Deswegen halten FISCHER et al. (2017) eine Kreuzübertragung von dem Personal und den Tieren für wahrscheinlich.

Da MRSA und ESBL produzierende *E. coli* nicht nur für Tiere, sondern auch für den Menschen eine Gesundheitsgefährdung darstellen, erscheint die gründliche Reinigung und Desinfektion des Narkosegerätes und speziell der Narkosemasken umso wichtiger. Die Keimreduktion der Indikatorkeime nach der Reinigung und Desinfektion zeigt, dass somit Infektionsketten zwischen den Abferkeldurchgängen innerhalb eines Betriebes unterbrochen werden können.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Evaluation und Optimierung der automatisierten Isoflurannarkose bei der von Landwirten und Landwirtinnen durchgeführten Saugferkelkastration auf zwei Ferkelerzeugerbetrieben mit den Narkosegeräten PigletSnoozer (Fa. GFS Top-Animal-Service GmbH, Ascheberg) (Betrieb 1), MS Pigsleeper (Fa. MS Schippers GmbH, Kerken) und PorcAnest 3000® (Fa. Promatec Automation AG, Dornedingen, Schweiz) (Betrieb 2). Dazu wurden die Narkosetiefe, Narkosezwischenfälle und Ferkelverluste (während und bis 24 Stunden nach der Kastration) untersucht. Des Weiteren wurden der Isofluranverbrauch, die Arbeitszeit, die Isofluranexposition am Arbeitsplatz und die mikrobiologische Kontamination der Narkosemasken ermittelt. Auf Betrieb 2 wurden gezielt Optimierungsmaßnahmen durchgeführt, um den Anteil an Tieren mit ausreichender Narkosetiefe zu erhöhen und die Anwendersicherheit zu verbessern.

Insgesamt gingen 3589 männliche Saugferkel mit einem durchschnittlichen Alter von 4,4 Tagen in die Auswertung ein, davon 2002 Ferkel aus acht Durchgängen in Betrieb 1 mit dem PigletSnoozer und 1587 Ferkel aus 19 Durchgängen in Betrieb 2 mit dem MS Pigsleeper (17 DG, n = 1378) und PorcAnest 3000® (2 DG, n = 209). Aufgrund einer Fehlfunktion des Gerätes PigletSnoozer (ausbleibender Narkosegasfluss) mussten zwei Durchgänge abgebrochen werden und gingen nicht in die Datenauswertung mit ein. Die Narkosetiefe wurde anhand Abwehrreaktionen mittels eines modifizierten Abwehrscores nach HÄRTEL et al. (2021) beurteilt. Bei den Kastrationen mit dem Narkosegerät PigletSnoozer konnte bei 79,2 % der Tiere eine ausreichende Narkosetiefe erreicht werden. Mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper waren vor den Optimierungen im Mittel 81,6 % der Ferkel während der Kastration ausreichend narkotisiert. Der Anteil ausreichend narkotisierter Tiere konnte durch Optimierungsmaßnahmen (externe Wärmequelle am Verdampfer, Verringerung des Gasflusses und Verlängerung der Einleitungszeit) auf durchschnittlich 93,6 % erhöht werden. Den größten Einfluss hatte dabei die Verlängerung der Narkoseeinleitungszeit von

70 Sekunden auf 90 Sekunden. Bei dem Narkosegerät PorcAnest 3000® führte die verlängerte Anflutungszeit von 90 Sekunden zu 92,7 % ausreichend narkotisierten Ferkel. Insgesamt traten in dieser Studie 0,6 % Narkosezwischenfälle auf ($n = 21/3589$). Durch schnelles Erkennen von Narkosezwischenfällen und Ergreifen von Gegenmaßnahmen kam es zu keinen Tierverlusten während der Narkose. Binnen 24 Stunden nach der Kastration starben acht von 3589 kastrierten Ferkeln (0,2 %), wobei die Ferkelverluste nicht der Isoflurannarkose zuzuschreiben waren (Erdrücken durch die Muttersau und unerkannte *Hernia scrotalis*). Die gesamte Arbeitszeit auf Betrieb 1 mit dem Narkosegerät PigletSnoozer lag bei 2,0 Minuten pro Ferkel und Person. Auf Betrieb 2 mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper betrug die Arbeitszeit 3,3 Minuten pro Ferkel und Person. In drei Durchgängen pro Betrieb wurden Arbeitsplatzsicherheitsmessungen durch TÜV SÜD Industrie Service GmbH (Mannheim) durchgeführt. Diese ergaben in einem Fall auf Betrieb 1 einen erhöhten personenbezogenen Messwert während der Arbeitszeit, welcher durch Gegenmaßnahmen in den folgenden Messungen reguliert werden konnte. An emissionsgefährdeten Stellen am Gerät/Arbeitsplatz, wie zwischen den Narkosemasken, am Aktivkohlefilter und in der Aufwachbox, wurden teilweise sehr hohe Isofluranwerte gemessen. Die Reinigung und Desinfektion der Narkosemasken verringerte die Gesamtkeimzahl um drei bis fünf log-Stufen. Nach der Kastration wurde bei allen sechs Beprobungen *E. coli* und MRSA an der Maske aufgefunden, welche nach Reinigung und Desinfektion in keinem Fall mehr nachweisbar waren.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Durchführbarkeit der automatisierten Isoflurannarkose sehr vom Gerät und dessen einwandfreier Funktion abhängt, weswegen eine technische Betreuung der Anwender:innen unabdingbar ist. Rund 80 % der Ferkel waren ohne Optimierungsmaßnahmen ausreichend narkotisiert. Der Anteil der Ferkel konnte durch gezielte Verbesserungen beim Narkosegerät MS Pigsleeper auf knapp 94 % erhöht werden. Die Studie macht deutlich, dass Optimierungen der automatisierten Isoflurannarkose im Sinne des Tierwohls und der Anwendersicherheit möglich und nötig sind.

VII. SUMMARY

The aim of the present study was to evaluate and optimize automated isoflurane anesthesia during farmer-performed suckling piglet castration on two piglet production farms using the anesthesia devices PigletSnoozer (Co. GFS Top-Animal-Service GmbH, Ascheberg, Germany) (farm 1), MS Pigsleeper (Co. MS Schippers GmbH, Kerken, Germany) and PorcAnest 3000® (Co. Promatec Automation AG, Dornedingen, Switzerland) (farm 2). For this purpose, the depth of anesthesia, anesthetic incidents and piglet losses (during and up to 24 hours after castration) were investigated. Furthermore, isoflurane consumption, working time, isoflurane exposure at the workplace and microbiological contamination of the anesthetic masks were determined. Targeted optimization measures were implemented on farm 2 to increase the percentage of animals with sufficient depth of anesthesia and to improve user safety.

A total of 3589 male suckling piglets with an average age of 4.4 days were included in the evaluation, of which 2002 piglets from eight runs in farm 1 with the PigletSnoozer and 1587 piglets from 19 runs in farm 2 with the MS Pigsleeper (17 runs, $n = 1378$) and PorcAnest 3000® (2 runs, $n = 209$). Due to a malfunction of the PigletSnoozer device (failure of anesthetic gas flow), two runs had to be aborted and were not included in the data analysis. The depth of anesthesia was assessed by defense reactions using a modified defense score according to HÄRTEL et al. (2021). During castrations with the PigletSnoozer device, sufficient depth of anesthesia was achieved in 79.2 % of the animals. With the MS Pigsleeper device, an average of 81.6 % of the piglets were adequately anesthetized during castration prior to optimizations. The percentage of sufficiently anesthetized animals could be increased to an average of 93.6 % by optimization measures (external heat source at the vaporizer, reduction of the gas flow and extension of the induction time). The greatest influence was the extension of the anesthesia induction time from 70 seconds to 90 seconds. For the PorcAnest 3000® device, the extended anesthesia induction time of 90 seconds resulted in 92.7 % adequately anesthetized piglets. Overall, 0.6 % anesthetic incidents occurred in this study

(n = 21/3589). Due to rapid recognition of anesthetic incidents and taking countermeasures, no animal losses occurred during anesthesia. Within 24 hours after castration, eight of 3589 castrated piglets died (0.2 %), with piglet losses not attributable to isoflurane anesthesia (crushing by the mother sow and undetected scrotal hernia). The total working time on farm 1 with the PigletSnoozer anesthesia device was 2.0 minutes per piglet per person. On farm 2 with the MS Pigsleeper anesthesia device, the work time was 3.3 minutes per piglet per person. Workplace safety measurements were carried out by TÜV SÜD Industrie Service GmbH (Mannheim) in three runs per farm. In one case, these revealed an increased personal measure value during working time on farm 1, which could be regulated by countermeasures in the following measurements. Very high isoflurane levels were measured in some cases at points on the anesthetic device/workplace where there was a risk of emissions, such as between the anesthetic masks, at the activated charcoal filter and in the recovery box. Cleaning and disinfection of the anesthetic masks reduced the total bacterial count by three to five log levels. After castration, *E. coli* and MRSA were found on the mask in all six samples, which were no longer detectable in any case after cleaning and disinfection.

The present study shows that the feasibility of automated isoflurane anesthesia is highly dependent on the device and it functioning properly, which is why technical support of the users is indispensable. About 80 % of the piglets were sufficiently anesthetized without optimization measures. The percentage of piglets could be increased to almost 94 % by targeted improvements to the MS Pigsleeper anesthesia device. The study shows clearly that optimization of automated isoflurane anesthesia is possible and necessary in terms of animal welfare and user safety.

VIII. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anzahl der Ferkel und erhobene Parameter (x) in den Durchgängen 1-8 auf Betrieb 1.	28
Tabelle 2: Anzahl der Ferkel und erhobene Parameter (x) in den Durchgängen 1-19 auf Betrieb 2.	29
Tabelle 3: Modifizierter Abwehrscore basierend auf Daten von HÄRTEL et al. (2021).....	30
Tabelle 4: Optimierungsmaßnahmen und Anzahl der Durchgänge und Ferkelzahl.	36
Tabelle 5: Mittelwert und Standardabweichung vom Isofluranverbrauch und der Filtergewichtszunahme beim Narkosegerät MS Pigsleeper je nach Optimierungsmaßnahme.	47
Tabelle 6: Arbeitszeit für die einzelnen Arbeitsschritte für Kastrationen mit PigletSnoozer und MS Pigsleeper in Minuten.....	48
Tabelle 7: Isoflurankonzentration in mg Isofluran/m ³ Raumluft an den fünf genannten Messpunkten bei PigletSnoozer und MS Pigsleeper.....	49
Tabelle 8: Mittelwert und Standardabweichung der nachgewiesenen Gesamtkeimzahl mesophiler Bakterien der Beprobung der Narkosemasken beider Betriebe zu den unterschiedlichen Beprobungszeitpunkten.....	51
Tabelle 9: Anzahl der Nachweise von <i>E. coli</i> und MRSA auf den Narkosemasken von sechs Beprobungsdurchgängen.	52

IX. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Durch die DLG zertifizierte Narkosegeräte. PigletSnoozer (a), MS Pigsleeper Flexy (b), PorcAnest 3000® (c), PigNap 4.0. (d), Anestacia® (e) (Bilder Copyright DLG: © 2020 DLG (DLG, 2020f, 2020g, 2020c, 2020d, 2020e)).	18
Abbildung 2: Foto von den vier Kastrationsmasken des MS Pigsleeper und der zentral positionierten Kamera zur Aufnahme des Kastrationsprozesses.	30
Abbildung 3: Zeitstrahl für die einzelnen Arbeitsschritte im Rahmen der Kastration unter automatisierter Isoflurannarkose.	33
Abbildung 4: Zeitstrahl für die einzelnen Arbeitsschritte im Rahmen der Kastration unter automatisierter Isoflurannarkose.	33
Abbildung 5: Graphische Darstellung der einzelnen Beprobungszeitpunkte.	34
Abbildung 6: Heizlüfter vor der Verdampfereinheit des Narkosegerätes MS Pigsleeper als externe Wärmequelle.	37
Abbildung 7: Verteilung des Lebensalters in Tagen der männlichen kastrierten Ferkel (n = 2116) am Tag der Kastration; rot gestrichelte Linie: Mittelwert; grün gestrichelte Linie: Standardabweichung, schwarze Linie: Normalverteilungskurve.	40
Abbildung 8: Anteil der Ferkel mit Abwehrscore ≤ 1 in Prozent aufgeteilt pro Durchgang auf Betrieb 1 mit dem Gerät PigletSnoozer.	42
Abbildung 9: Anteil der Ferkel mit Abwehrscore ≤ 1 in Prozent aufgeteilt nach Optimierungsmaßnahmen auf Betrieb 2 mit dem Narkosegerät MS Pigsleeper.	43
Abbildung 10: Geplottete Vorhersage des Einflusses von Alter zum Anteil der Tiere mit Abwehrscore ≤ 1 auf Betrieb 1 und 2.	44

Abbildung 11: Geplottete Vorhersage des Einflusses von (A) Position am Gerät und (B) Durchgang zum Anteil der Tiere mit Abwehrescore ≤ 1 auf Betrieb 1.....	44
Abbildung 12: Geplottete Vorhersage des Einflusses (A) der Optimierung (0-4), (B) der Anzahl belegter Stationen bei Kastration (1-4), (C) der Parität der Sau (1, 2-4, > 4) und (D) der Kreuzung der Ferkel (1-5) zum Anteil der Tiere mit Abwehrescore ≤ 1 auf Betrieb 2.....	45
Abbildung 13: Isoflurankonzentrationen (mg/m^3) an den einzelnen Messstationen auf Betrieb 1 am Narkosegerät PigletSnoozer.....	50
Abbildung 14: Isoflurankonzentrationen (mg/m^3) an den einzelnen Messstationen auf Betrieb 2 am Narkosegerät MS Pigsleeper.....	50

X. LITERATURVERZEICHNIS

Abendschön N, Senf S, Deffner P, Miller R, Grott A, Werner J, Saller AM, Reiser J, Weiß C, Zablotzki Y (2020). Local anesthesia in piglets undergoing castration - a comparative study to investigate the analgesic effects of four local anesthetics based on defensive behavior and side effects. *Animals: an open access journal from MDPI*, 10 (10): 1752.

AGS (2014). Technische Regeln für Gefahrstoffe, (Gefahrstoffe in Einrichtungen der medizinischen Verorgung). Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - Ausschuss für Gefahrstoffe: Gemeinsames Ministerialblatt 2014, TRGS 525, <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-525.html>.

AGS (2022a). Bearbeitungsliste des AGS - UA III zur TRGS 900 und TRGS 910 (AGS-Bearbeitungsliste zu Luftgrenzwerten). Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - Ausschuss für Gefahrstoffe, https://www.baua.de/SiteGlobals/Forms/Suche/BAuA/DE/Expertensuche_Formular.html?resourceId=eed6b469-fefd-4bb8-addd-f2042f3003e9&input_=0a77a225-a7c8-48fb-8616-f340119554e1&pageLocale=de&templateQueryStringExpert=bearbeitungsliste+trgs+900-910&submit=Suchen.

AGS (2022b). Technische Regeln für Gefahrstoffe, (Arbeitsplatzgrenzwerte). Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin - Ausschuss für Gefahrstoffe: Gemeinsames Ministerialblatt 1/2006, TRGS 900, <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/TRGS-900.html>.

Ammer H, Potschka H (2016). Pharmakologie des zentralen Nervensystems (ZNS). In: Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin. 4. Auflage; Löscher W, Richter A (Hrsg.); Stuttgart, Enke Verlag: 125-180.

Benrath J, Sandkühler J (2000). Nozizeption bei Früh- und Neugeborenen. *Der Schmerz*, 14 (5): 297-301.

Benrath J, Hatzenbühler M, Fresenius M, Heck M (2020). Grundlagen. In: Repetitorium Schmerztherapie. 5. Auflage; Benrath J, Hatzenbühler M, Fresenius M, Heck M (Hrsg.); Berlin, Heidelberg, Springer Verlag: 3-15.

BMEL (2021). Ausstieg aus der betäubungslosen Ferkelkastration. <https://www.bmel.de/DE/themen/tiere/tierschutz/ferkelkastration201811.html> accessed: 08.03.2023.

Burren C, Jäggin N (2008). Beurteilung der Inhalationsanästhesie zur Schmerzausschaltung bei der chirurgischen Kastration von Ferkeln - Ergänzende Feldversuche Projekt ProSchwein. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft Zollikofen.

Butler RK, Finn DP (2009). Stress-induced analgesia. *Progress in neurobiology*, 88 (3): 184-202.

BVL (2018). Erstes Inhalationsnarkotikum für die schmerzfreie Ferkelkastration in Deutschland zugelassen. https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Fachmeldungen/05_tierarzneimittel/2018/2018_11_23_Fa_Isofluran.html accessed: 07.03.2023.

Deile M, Damm M, Heller AR (2013). Inhalative Anästhetika. *Der Anaesthesist*, 62 (6): 493-504.

Deutscher Bundestag (2018). Fristverlängerung bei Ferkelkastration. https://www.bundestag.de/webarchiv/presse/hib/2018_11/580676-580676 accessed: 08.03.2023.

DGUV (2022a). GESTIS-Stoffdatenblatt "Isofluran" der GESTIS-Stoffdatenbank. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (Hrsg.). <https://gestis.dguv.de/data?name=135922> accessed: 08.03.2023.

DGUV (2022b). GESTIS International Limit Values. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (Hrsg.). <https://limitvalue.ifa.dguv.de/> accessed: 08.03.2023.

DLG (2020a). DLG-Prüfberichte zu den Isofluran-Narkosegeräten veröffentlicht. <https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft/newsletter-archiv/2020/34/dlg-pruefberichte-zu-den-isofluran-narkosegeraeten-veroeffentlicht> accessed: 07.03.2023.

DLG (2020b). Weitere Isofluran-Narkosegeräte DLG-zertifiziert. <https://www.dlg.org/de/mitgliedschaft/newsletter-archiv/2020/newsletter-262020/weitere-isofluran-narkosegeraete-dlg-zertifiziert> accessed: 07.03.2023.

DLG (2020c). DLG-Prüfbericht 7080. DLG TestService GmbH (Hrsg.); https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/7080_V2.pdf. accessed: 08.03.2023.

DLG (2020d). DLG-Prüfbericht 7081. DLG TestService GmbH (Hrsg.); https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/7081_V2.pdf. accessed: 08.03.2023.

DLG (2020e). DLG-Prüfbericht 7082. DLG TestService GmbH (Hrsg.); <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/7082-30.pdf>. accessed: 08.03.2023.

DLG (2020f). DLG-Prüfbericht 7089. DLG TestService GmbH (Hrsg.); <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/7089.pdf>. accessed: 08.03.2023.

DLG (2020g). DLG Prüfbericht 7090. DLG TestService GmbH (Hrsg.); <https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/7090.pdf>. accessed: 08.03.2023.

Eberspächer-Schweda E (2020a). Das Anästhesiegerät. In: AnästhesieSkills. 2. Auflage; Eberspächer-Schweda E (Hrsg.); Stuttgart, Thieme Verlag: 24-42.

Eberspächer-Schweda E (2020b). Physiologie und Pathophysiologie. In: AnästhesieSkills. 2. Auflage; Eberspächer-Schweda E (Hrsg.); Stuttgart, Thieme Verlag: 273-281.

Eberspächer-Schweda E (2020c). Speziespezifische Anästhesie. In: AnästhesieSkills. 2. Auflage; Eberspächer-Schweda E (Hrsg.); Stuttgart, Thieme Verlag: 154-272.

Eberspächer-Schweda E (2020d). Medikamente. In: AnästhesieSkills. 2. Auflage; Eberspächer-Schweda E (Hrsg.); Stuttgart, Thieme Verlag: 68-152.

EFSA (2009). Analysis of the baseline survey on the prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in holdings with breeding pigs, in the EU, 2008-Part A: MRSA prevalence estimates. European Food Safety Authority journal, 7 (11): 1376.

Eger EI, Johnson BH, Weiskopf RB, Holmes MA, Yasuda N, Targ A, Rampil IJ (1988). Minimum alveolar concentration of 1-653 and isoflurane in pigs: definition of a supramaximal stimulus. Anesthesia and Analgesia, 67 (12): 1174-1176.

Enz A, Schüpbach-Regula G, Bettschart R, Fuschini E, Bürgi E, Sidler X (2013). Erfahrungen zur Schmerzausschaltung bei der Ferkelkastration in der Schweiz Teil 1: Inhalationsanästhesie. Schweizer Archiv für Tierheilkunde, 155 (12): 651-659.

Erhardt W, Henke J, Tacke S, Baumgartner C, Kroker R (2012a). Allgemeinanästhetika. In: Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier mit Exoten, Labortieren, Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen. 2. Auflage; Erhardt W, Henke J, Haberstroh J, Baumgartner C, Tacke S (Hrsg.); Stuttgart, Schattauer Verlag: 17-110.

Erhardt W, Lendl C, Tacke S (2012b). Pädiatrische Patienten. In: Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier mit Exoten, Labortieren, Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen. 2. Auflage; Erhardt W, Henke J, Haberstroh J, Baumgartner C, Tacke S (Hrsg.); Stuttgart, Schattauer Verlag: 435-445.

Erhardt W, Haberstroh J (2012). Anästhesietiefe und Anästhesiezeichen. In: Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier mit Exoten, Labortieren, Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen. 2. Auflage; Erhardt W, Henke J, Haberstroh J, Baumgartner C, Tacke S (Hrsg.); Stuttgart, Schattauer Verlag: 317-326.

FerkBetSachkV (2020). Ferkelbetäubungssachkundeverordnung vom 8. Januar 2020 (BGBl. I S. 96).

Fischer J, Hille K, Ruddat I, Mellmann A, Köck R, Kreienbrock L (2017). Simultaneous occurrence of MRSA and ESBL-producing *Enterobacteriaceae* on pig farms and in nasal and stool samples from farmers. Veterinary microbiology, 200: 107-113.

Friese A, Schulz J, Laube H, von Salviati C, Hartung J, Roesler U (2013). Faecal occurrence and emissions of livestock-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (laMRSA) and ESBL/AmpC-producing *E. coli* from animal farms in Germany. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 126 (3-4): 175-180.

Gäckler S, Gumbert S, Harlizius J, Hopp W, Löwenstein F (2021). Isofluran-Narkose: Vieles läuft noch nicht rund. *Top Agrar* (7): 18-22.

GFS-TOP-ANIMAL-SHOP (2020). PigletSnoozer. <https://www.gfs-topshop.de/cms/de/magazin/produktnews-schwein-tipps-und-tricks/pigletsnoozer> accessed: 08.03.2023.

GFS (2021). Betriebsanleitung PigletSnoozer, GFS-Top-Animal-Service GmbH. Ascheberg.

Graefe KH (2016). Klinische Pharmakologie einzelner Organsysteme und wichtiger Indikationsgebiete. In: *Pharmakologie und Toxikologie*. 2. Auflage; Graefe KH, Lutz W, Bönisch H (Hrsg.); Stuttgart, Thieme Verlag: 269-357.

Guedel A (1927). Stages of Anesthesia and a Re-Classification of the Signs of Anesthesia*. *Anesthesia and Analgesia*, 6: 157-162.

Haberstroh J (2012). Arbeitssicherheits- und umweltrechtliche Aspekte der Inhalationsanästhetika. In: *Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier mit Exoten, Labortieren, Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen*. 2. Auflage; Erhardt W, Henke J, Haberstroh J, Baumgartner C, Tacke S (Hrsg.); Stuttgart, Schattauer Verlag: 154-160.

Härtel H, Gumbert S, Rauh A, Beisl M, Schulz J, Kempf K, Senf S, Winner E, Weiß C, Nüßlein A (2021). Untersuchungen zur automatisierten Isoflurannarkose bei der Saugferkelkastration. *Tierärztliche Praxis*. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere, 49 (03): 167-177.

Härtel H (2021). Untersuchungen zur automatisierten Isoflurannarkose bei der Saugferkelkastration mit den Narkosegeräten PorcAnest und PigNap. Diss. med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität München.

Heinritzi K (2006). Zootechnische Maßnahmen. In: Schweinekrankheiten. 1. Auflage; Heinritzi K, Gindele HR, Reiner G, Schnurrbusch U (Hrsg.); Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag: 42-43.

Henke J, Tacke S, Erhardt W (2012). Analgesie. In: Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier mit Exoten, Labortieren, Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen. 2. Auflage; Erhardt W, Henke J, Haberstroh J, Baumgartner C, Tacke S (Hrsg.); Stuttgart, Schattauer Verlag: 383-431.

Henke J, Haberstroh J (2012). Anästhesieausrüstung und Anästhesiarbeitsplatz. In: Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier mit Exoten, Labortieren, Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen. 2. Auflage; Erhardt W, Henke J, Haberstroh J, Baumgartner C, Tacke S (Hrsg.); Stuttgart, Schattauer Verlag: 169-198.

Hodgson DS (2006). An inhaler device using liquid injection of isoflurane for short term anesthesia in piglets. *Veterinary anaesthesia and analgesia*, 33 (4): 207-213.

Hoerauf K, Lierz M, Wiesner G, Schroegendorfer K, Lierz P, Spacek A, Brunnberg L, Nüsse M (1999). Genetic damage in operating room personnel exposed to isoflurane and nitrous oxide. *Occupational and environmental medicine*, 56 (7): 433-437.

Imberti R, Preseglio I, Imbriani M, Ghittori S, Cimino F, Mapelli A (1995). Low flow anaesthesia reduces occupational exposure to inhalation anaesthetics environmental and biological measurements in operating room personnel. *Acta anaesthesiologica scandinavica*, 39 (5): 586-591.

Ison S, Clutton R, Di Giminiani P, Rutherford K (2016). A Review of Pain Assessment in Pigs. *Frontiers in veterinary science*, 3: 108.

Jäggin N, Burren C (2008). Beurteilung von Geräten für die Inhalationsanästhesie zur Schmerzausschaltung bei der chirurgischen Kastration von Ferkeln. Resultate Feldversuche Gerät Pigsleeper, Firma Schippers Projekt ProSchwein. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft Zollikofen.

Jedlicka J, Groene P, Linhart J, Raith E, Mustapha D, Conzen P (2021). Inhalationsanästhetika. *Der Anaesthesist*, 70 (4): 343-355.

Köck R, Harlizius J, Bressan N, Laerberg R, Wieler LH, Witte W, Deurenberg R, Voss A, Becker K, Friedrich AW (2009). Prevalence and molecular characteristics of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) among pigs on German farms and import of livestock-related MRSA into hospitals. *European journal of clinical microbiology & infectious diseases: official publication of the European Society of Clinical Microbiology*, 28 (11): 1375-1382.

Kohler I, Moens Y, Busato A (1998). Inhalation Anaesthesia for the Castration of Piglets: CO₂ Compared to Halothane. *Journal of veterinary medicine*, 45 (1-10): 625-633.

Kuhn I, Wissing H, Vettermann J (1995). Ein neues Arbeitsblatt zur Berechnung von Narkosekosten. *Anästhesiologie und Intensivmedizin*, 36 (9): 242-248.

Kupper T, Spring P (2008). Alternative Methoden zur konventionellen Ferkelkastration ohne Schmerzausschaltung Projekt ProSchwein Synthesebericht. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft Zollikofen.

Larsen R (2020). Inhalationsanästhetika. In: Wissens-Check: Anästhesie für die Fachpflege. 9. Auflage; Larsen R (Hrsg.); Berlin, Heidelberg, Springer Verlag: 47-55.

Larsen R, Annecke T, Fink T (2022a). Inhalationsanästhetika. In: Anästhesie. 12. Auflage; Larsen R, Annecke T, Fink T (Hrsg.); München, Elsevier Verlag: 17-44.

Larsen R, Annecke T, Fink T (2022b). Narkosesysteme und Narkosebeatmung. In: Anästhesie. 12. Auflage; Larsen R, Annecke T, Fink T (Hrsg.); München, Elsevier Verlag: 363-381.

LGL (2021). Nationaler Aktionsplan Kupierverzicht. <https://www.aktionsplankupierverzicht.bayern.de/> accessed: 08.02.2023.

Loscar M, Annecke T, Conzen P (2019). Inhalationsanästhetika. In: Die Anästhesiologie; Rossaint R, Werner C, Zwißler B (Hrsg.); Berlin, Heidelberg, Springer Verlag: 343-369.

Mette A (2008). Untersuchungen zur Isofluran-Narkose beim Schwein. Diss. med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität München.

Molony V, Kent JE (1997). Assessment of acute pain in farm animals using behavioral and physiological measurements. *Journal of animal science*, 75 (1): 266-272.

Morton DB, Griffiths P (1985). Guidelines on the recognition of pain, distress and discomfort in experimental animals and an hypothesis for assessment. *The Veterinary record*, 116 (16): 431-436.

MS Schippers (2020). Bedienungsanleitung. MS Pigsleeper, MS Schippers GmbH. Kerken.

Plonait H (2004). Erkrankungen und Operationen an den Fortpflanzungsorganen des Ebers. In: Lehrbuch der Schweinekrankheiten. 4. Auflage; Waldmann K-H, Wendt M (Hrsg.); Stuttgart, Parey Verlag: 525-548.

Preiswerk A, Henzen A, Torgerson PR, Bettschart-Wolfensberger R (2022). Kritische Evaluation der in der Schweiz zur Verfügung stehenden Inhalationsanästhesiegeräte zur Ferkelkastration unter Isoflurananästhesie im Stall. Schweizer Archiv für Tierheilkunde, 164 (2): 165-175.

Prunier A, Bonneau M, Von Borell E, Cinotti S, Gunn M, Fredriksen B, Giersing M, Morton D, Tuytens F, Velarde A (2006). A review of the welfare consequences of surgical castration in piglets and the evaluation of non-surgical methods. Animal Welfare, 15 (3): 277-289.

Riethmüller A, Ströker U (2020). Anwenderschutz bei der Inhalationsnarkose zur Ferkelkastration. Soziale Sicherheit in der Landwirtschaft, 1: 27-38.

Rintisch U, Baars J, Lahrmann K-H (2012). Beurteilung der perioperativen Analgesie mit dem nozizeptiven Flexorreflex bei Schweinen unter Ketamin-Azaperon-Allgemeinanästhesie. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 125 (3-4): 96-102.

RL 2008/120/EG (2008). Richtlinie 2008/120/EG des Rates vom 18. Dezember 2008 über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen (kodifizierte Fassung).

Rüdebusch J, Kästner S, Waldmann K-H, von Altrock A (2022). Untersuchung zur Optimierung der automatisierten Isoflurannarkose für die Durchführung einer sicheren, schmerzlosen Kastration von männlichen Saugferkeln. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 135: 1-13.

Saller AM, Werner J, Reiser J, Senf S, Deffner P, Abendschön N, Weiß C, Fischer J, Schörwerth A, Miller R (2020). Local anesthesia in piglets undergoing castration - A comparative study to investigate the analgesic effects of four local anesthetics on the basis of acute physiological responses and limb movements. *Public Library of Science one*, 15 (7): e0236742.

Sann H (2022). Nozizeption und Schmerz. In: *Physiologie der Haustiere*. 6. Auflage; Breves G, Diener M, Gäbel G (Hrsg.); Stuttgart, Thieme Verlag: 74-81.

Säre H, Ambrisko T, Moens Y (2011). Occupational exposure to isoflurane during anaesthesia induction with standard and scavenging double masks in dogs, pigs and ponies. *Laboratory animals*, 45 (3): 191-195.

Schulz C, Ritzmann M, Palzer A, Otten W, Heinritzi K (2007). Verlauf der Noradrenalin- und AdrenalinKonzentrationen vor und nach der Kastration von Saugferkeln mit und ohne Isofluran-Narkose. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift*, 114 (12): 454-459.

Schwennen C, Kolbaum N, Waldmann K-H, Hörtig D (2016). Evaluation of the anaesthetic depth during piglet castration under an automated isoflurane-anaesthesia at farm level. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 129 (1-2): 40-47.

Scollo A, Galli MC, Contiero B, De Benedictis GM, Orlandi B, Gottardo F (2021). Analgesia and/or anaesthesia during piglet castration - part II: practicability of farm protocols, resource efficiency and economic implications. *Italian Journal of Animal Science*, 20 (1): 472-478.

Sheil M, Polkinghorne A (2020). Optimal Methods of Documenting Analgesic Efficacy in Neonatal Piglets Undergoing Castration. *Animals: an open access journal from MDPI*, 10 (9): 1450.

Steigmann M (2013). Evaluierung der Schmerzausschaltung bei der Kastration männlicher Ferkel unter automatisierter Isoflurannarkose. Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover.

Sulbaek Andersen M, Sander S, Nielsen O, Wagner D, Sanford Jr T, Wallington T (2010). Inhalation anaesthetics and climate change. *British journal of anaesthesia*, 105 (6): 760-766.

TierSchG (2021). Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 105 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.

Übel N, Zöls S, Otten W, Sauter-Louis C, Heinritzi K, Ritzmann M, Eddicks M (2015). Auswirkungen der zeitgleichen Durchführung zootechnischer Eingriffe an Saugferkeln. *Tierärztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere*, 43 (06): 359-366.

Weber S, Daş G, Schulz J, Moors E, Hartung J, Waldmann KH, Gaulty M (2013). Isoflurane-anaesthesia used for piglet-castration: a bacteriological assessment of the anaesthetic device. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 126 (7-8): 277-284.

Weber S, Daş G, Waldmann K-H, Gaulty M (2014). Labour time required for piglet castration with isoflurane-anaesthesia using shared and stationary inhaler devices. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 127 (3-4): 108-114.

Wenger S, Jäggin N, Doherr M, Schatzmann U (2002). Die Halothananästhesie zur Kastration des Saugferkels. Machbarkeitsstudie und Kosten-Nutzen-Analyse. *Tierärztliche Praxis. Ausgabe G Grosstiere/Nutztiere*, 30 (3): 164-170.

Winner E-M, Beisl M, Gumbert S, Härtel H, Kaiser J, Wernecke A, Senf S, Zablotski Y, Ritzmann M, Zöls S (2022). Implementation of piglet castration under inhalation anaesthesia on farrowing farms. *Porcine Health Management*, 8 (1): 1-13.

XI. DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Mathias Ritzmann für die Überlassung dieses sehr interessanten Themas und die gute Betreuung und Unterstützung während der Durchführung und Anfertigung dieser Arbeit bedanken. Vielen Dank für die schöne, lehrreiche und interessante Zeit an der Klinik für Schweine.

Mein ganz besonderer Dank gilt Frau Dr. Susanne Zöls und Frau Dr. Sophie Gumbert für die äußerst freundliche und kompetente Betreuung während dieser Arbeit. Ich danke euch sehr für die ständige Motivation, die unzähligen Lösungsvorschläge bei allerhand Herausforderungen und die zahlreichen Korrekturen. Natürlich möchte ich mich auch beim gesamten „IsoFer“-Team für eure außerordentliche Hilfsbereitschaft und die gute Zusammenarbeit bedanken. Besonders möchte ich mich bei Frau Dr. Marina Beisl für die stetige, nicht wegzudenkende Unterstützung bei der praktischen Durchführung der Studie mit all ihren technischen Herausforderungen bedanken!

Ich danke den Projektlandwirten und -landwirtinnen für die tolle, humorvolle Zusammenarbeit und die außerordentlich herzliche Gastfreundschaft.

Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Dr. Jochen Schulz und Frau Katrin Kempf der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover für die hervorragende Zusammenarbeit und die Bearbeitung der mikrobiologischen Proben.

Ich möchte mich bei all meinen Kollegen und Kolleginnen an der Klinik für Schweine für die tolle Zeit, die stetige Unterstützung und das überaus freundliche und angenehme Arbeitsklima bedanken. Ein großes Dankeschön für das Geschenk zu unserer Hochzeit. Vielen Dank an Dr. Yury Zablotzki für die Hilfe bei der Statistik und an Dr. Steffanie Senf für die Unterstützung bei der Formatierung.

Ich möchte mich bei meinen Freunden und Freundinnen für die motivierenden Worte und das große Verständnis bedanken. Danke, dass

ihr immer ein offenes Ohr für mich habt. Ein riesiges Dankeschön an Marco Kammermeier für die Hilfsbereitschaft und das entscheidende Vitamin B!

Ein ganz besonders großer Dank gilt meinen Eltern. Ihr habt mir dieses Studium ermöglicht und mich immer, in allen Lebenslagen mit Rat und Tat unterstützt. Danke, dass ihr an mich glaubt und immer für mich da seid!

Zuletzt möchte ich mich bei dir Jaymes für dein Vertrauen und deine unermüdliche Unterstützung und Liebe bedanken. Danke, dass Du mich immer aufmunterst und mir Kraft gibst!