

Aus der Klinik für Schweine
in Oberschleißheim
(Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Karl Heinritzi)
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Untersuchungen über den Einsatz von topischer Kryobehandlung und Lokalanästhesie bei der Kastration männlicher Saugferkel

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von

Daniela Maria Schiele
aus Fürstenfeldbruck

München 2010

Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der
Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Dr. habil Heinritzi

Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Gerhards

Tag der Promotion: 13. Februar 2010

„Ein wahrhaft großer Mann
wird weder einen Wurm zertreten
noch vor dem Kaiser kriechen.“

Benjamin Franklin

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATURÜBERSICHT	2
2.1	Gesetzliche Grundlagen, Umsetzung der Kastration männlicher Schweine in Deutschland und Europa	2
2.2	Indikationen für die Kastration männlicher Schweine	5
2.2.1	Entstehung von Ebergeruch.....	5
2.2.2	Verhalten geschlechtsreifer männlicher Schweine.....	7
2.3	Betäubungslose chirurgische Saugferkelkastration unter Berücksichtigung der Anatomie der Hoden und Hodenhüllen	7
2.4	Schmerz	8
2.4.1	Schmerzentstehung und Schmerzwahrnehmung	8
2.4.2	Schmerz bei Neugeborenen.....	9
2.4.3	Evaluierung von Schmerzen.....	10
2.4.4	Schmerzhaftigkeit der chirurgischen Saugferkelkastration.....	12
2.5	Alternativen zur betäubungslosen chirurgischen Saugferkelkastration	14
2.5.1	Kastration mit Kryoanalgesie und Lokalanästhetikum	14
2.5.2	Chirurgische Kastration mit anderen Methoden der Analgesie und Anästhesie...	15
2.5.2.1	Chirurgische Kastration mit Lokalanästhesie.....	15
2.5.2.2	Chirurgische Kastration unter Einsatz von Analgetika	18
2.5.2.3	Kastration unter Isofluran-Inhalationsnarkose	19
2.5.2.4	Kastration unter Betäubung mit einem CO ₂ /O ₂ -Gemisch	20
2.5.2.5	Kastration unter Allgemeinanästhesie mit Injektionspräparaten.....	21
2.5.3	Alternativen zur chirurgischen Kastration	21
2.5.3.1	Impfung gegen Ebergeruch	21
2.5.3.2	Jungebermast	23
2.5.3.3	Spermasexing	24
2.6	Kryoanalgesie	25
2.6.1	Allgemeiner Wirkungsmechanismus der Kryoanalgesie	25
2.6.2	Risiko von Erfrierungen bei der Anwendung kryogener Substanzen	25
2.6.3	Besondere Eigenschaften von Chlorethan als kryogene Substanz.....	26
2.6.4	Einsatzgebiete der Kryoanalgesie in der Medizin.....	27
2.6.4.1	Verwendung der Kryoanalgesie in der Humanmedizin	27
2.6.4.2	Spezielle Anwendungen in der Tiermedizin	29
2.7	Cortisol	31
2.7.1	Physiologie des Cortisolstoffwechsels	31
2.7.2	Wirkung der Glucocorticoide	31
2.7.3	Labordiagnostische Messung von Cortisol	32
2.7.4	Bestimmung von Cortisol als Stressparameter in der Tiermedizin.....	32
2.8	Wundheilung	33
2.8.1	Physiologischer Wundheilungsverlauf.....	33
2.8.2	Störungen der Wundheilung.....	34
2.8.3	Wundheilung nach chirurgischer Saugferkelkastration	34

3.	TIERE, MATERIAL UND METHODEN.....	36
3.1	Ziel der Untersuchungen.....	36
3.2	Genehmigung des Versuchsvorhabens	36
3.3	Versuchstiere und Betrieb	36
3.3.1	Versuchsbetrieb	36
3.3.2	Versuchstiere, Einschlusskriterien und zootechnische Maßnahmen.....	37
3.4	Versuchsaufbau	38
3.4.1	Auswahl der Medikamente.....	38
3.4.2	Versuchsgruppen	38
3.4.3	Versuchsablauf	42
3.4.4	Blutprobenentnahme	43
3.4.5	Kastration und Applikation der Medikamente	44
3.4.6	Wiegen der Ferkel	45
3.4.7	Weiterverarbeitung der Proben	45
3.4.8	Kontrolle der Wundheilung.....	46
3.5	Statistische Auswertung	48
4.	ERGEBNISSE.....	49
4.1	Ergebnisse der Cortisolmessungen	49
4.1.1	Mittlere Serumcortisolkonzentrationen bei Vereisung $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	49
4.1.2	Mittlere Serumcortisolkonzentrationen bei den acht Versuchsgruppen.....	51
4.1.2.1	Verläufe der mittleren Serumcortisolkonzentrationen	51
4.1.2.2	Vergleiche der mittleren Cortisolkonzentrationen der kastrierten Gruppen	54
4.1.2.3	Auswirkungen der Kryobehandlung auf die Serumcortisolkonzentration	55
4.1.2.4	Auswirkung der Lokalanästhesie auf die Serumcortisolkonzentration.....	59
4.1.2.5	Auswirkungen von Kryoanalgesie, Lokalanästhetikum und intraoperativer Fixation des Samenstranges auf die Serumcortisolkonzentration.....	62
4.1.3	Abweichungen der mittleren Serumcortisolkonzentrationen vom Basalwert.....	64
4.2	Ergebnisse der Wundheilungskontrolle	67
5.	DISKUSSION.....	70
5.1	Cortisol als Schmerzparameter	71
5.2	Auswirkungen der Kryobehandlung	72
5.3	Auswirkungen der prä- und intraoperativen Applikation von Lokalanästhetikum.....	74
5.4	Auswirkungen der Kastration mit Kryobehandlung, Klemme und Lokalanästhetikum.....	76
5.5	Wundheilungsverlauf	77
6.	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	80
7.	ZUSAMMENFASSUNG	82
8.	SUMMARY	85

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	87
TABELLENVERZEICHNIS	88
LITERATURVERZEICHNIS	89
DANKSAGUNG	107
ANHANG	108

Abkürzungsverzeichnis

AMG	Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EEG	Elektroenzephalogramm
ELISA	enzyme-linked immunosorbant assay
FSH	Follikel stimulierendes Hormon
GnRH	Gonadotropin Releasing Hormon
i.t.	intratestikulär
LA	Lokalanästhetikum
LH	Luteinisierendes Hormon
MPG	Medizinproduktegesetz
Mw.	Mittelwert
ng	Nanogramm
RIA	Radioimmunoassay
s.c.	subkutan
SD	Standardabweichung
SFr	Schweizer Franken
Temp.	Temperatur
TierSchG	Tierschutzgesetz
VAS	Visual Analogue Scale
vs.	versus
ZNS	Zentrales Nervensystem

1. Einleitung

In vielen europäischen Ländern ist es üblich, männliche Mastschweine im Saugferkelalter zu kastrieren. Dies dient hauptsächlich zur Vermeidung von ebertyischen geschmacklichen und geruchlichen Beeinträchtigungen des Schweinefleisches. In Deutschland ist die betäubungslose Kastration von männlichen Saugferkeln mit normaler anatomischer Beschaffenheit der Geschlechtsorgane bis zu einem Alter von unter acht Tagen erlaubt. Der Eingriff wird nahezu ausschließlich vom Landwirt selbst durchgeführt. Da die Tiere nachweislich während und nach der Kastration Schmerzen haben, wird europaweit nach geeigneten Alternativen zur Kastration ohne Schmerzausschaltung gesucht.

In Österreich wurde von GASTEINER et al. (2008) eine Methode vorgestellt, deren Kernpunkte die Kryoanalgesie des Skrotums und das Aufsprühen eines Lokalanästhetikums auf den mittels einer Klemme fixierten Samenstrang sind. Ergebnissen von GASTEINER et al. (2008) zufolge können kastrationsbedingte Schmerzen dadurch gelindert werden. Die Methode stellt sich als einfach durchführbar und kostengünstig dar und der zeitliche Aufwand ist nur unerheblich größer als bei betäubungsloser Kastration.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es, differenziert die Auswirkungen von lokaler Kryobehandlung, Lokalanästhesie und intraoperativer Fixation des Samenstranges auf die schmerzbedingte neuroendokrine Stressreaktion von Saugferkeln zu eruieren. Zusätzlich soll abgeklärt werden, ob durch Kryobehandlung, Lokalanästhetikum oder Einsatz einer Klemme bei Kastration die Heilung der Kastrationswunden beeinflusst wird.

2. Literaturübersicht

2.1 Gesetzliche Grundlagen, Umsetzung der Kastration männlicher Schweine in Deutschland und Europa

Der Grundsatz des deutschen Tierschutzgesetzes (TierSchG) ist es, dass niemand einem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zufügen darf. Im vierten Abschnitt sind Vorgehensweisen für Eingriffe an Tieren genauer geregelt, unter anderem auch jene Eingriffe wie das Schwanzkupieren oder die Kastration männlicher Saugferkel, die routinemäßig in der Nutztierpraxis durchgeführt werden. Prinzipiell darf ein mit Schmerzen verbundener Eingriff nur dann ohne Betäubung durchgeführt werden, wenn vergleichbare Eingriffe beim Menschen ebenfalls ohne Betäubung durchgeführt werden, wenn der Schmerz durch den Eingriff geringer ist als der, der durch die Betäubung entsteht oder wenn die Betäubung im Einzelfall nach tierärztlichem Urteil nicht durchführbar erscheint. Im Fall der Ferkelkastration besteht eine Ausnahmesituation. Obwohl sie als schmerzhaft anzusehen ist, darf sie laut §5 (3) 1a TierSchG bei unter acht Tage alten Ferkeln ohne Betäubung durchgeführt werden, falls kein von der normalen anatomischen Beschaffenheit abweichender Befund vorliegt (WALDMANN et al., 1994; TAILOR und WEARY 2000; HAY et al., 2003).

In den Medien wird die betäubungslose Ferkelkastration zunehmend thematisiert. Auch die Politik greift das Thema auf, wodurch sich gesetzliche Neuerungen ergeben (HUCKLENBROICH, 2007; HÖFKEN, et al. 2008; HUCKLENBROICH, 2008; HANSEN, 2009).

In der Richtlinie 2008/120/EG vom 18. Dezember 2008 über die Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen wird in Absatz 11 auf zootechnische Maßnahmen bei Ferkeln eingegangen. Da durch die Kastration anhaltende Schmerzen entstehen können, sollen Vorschriften erlassen werden, damit geeignetere Verfahren angewendet werden.

Zum 1. Januar 2009 wurde die EG-Öko-Basisverordnung 834/2007 mit der Durchführungsverordnung 889/2008 ergänzt. Demnach ist die betäubungslose Saugferkelkastration in ökologisch wirtschaftenden Betrieben nur noch bis Ende Dezember 2011 erlaubt. Laut Artikel 18 (1) der Durchführungsverordnung 889/2008 soll jegliches Leid auf ein Minimum begrenzt werden, indem angemessene Betäubungs- und/oder Schmerzmittel verabreicht werden.

Der Deutsche Bauernverband (DBV), der Verband der Fleischwirtschaft e.V. (VDF), der Hauptverband des Deutschen Einzelhandels (HDE) und die Qualität und Sicherheit GmbH (QS) einigten sich in der „Düsseldorfer Erklärung“ vom 29. September 2008 darauf, männliche Ferkel zur Sicherung der Fleischqualität weiterhin chirurgisch zu kastrieren, allerdings nur noch unter Verwendung schmerzstillender Mittel (ZDS, 2008). Längerfristig soll aber nach Alternativen gesucht werden, die ganz auf die chirurgische Kastration verzichten. Seit 1. April 2009 sind nun Ferkelerzeuger, die nach QS-Richtlinien arbeiten, dazu verpflichtet, die Kastration nur noch mit Gabe eines Schmerzmittels durchzuführen.

Auf europäischer Ebene sehen sich einige Nationen mit ähnlicher Problematik im Bereich der betäubungslosen Ferkelkastration konfrontiert. In den meisten europäischen Ländern werden 80-100 % der männlichen Schweine aus konventioneller Produktion kastriert. Ausnahmen sind beispielsweise Großbritannien, Spanien und Portugal, in denen hauptsächlich Ebermast betrieben wird (FREDRIKSEN und NAFSTAD, 2006).

Als zentrales Organ, das Informationen über den Status Quo der Ferkelkastration sammelt und auch bei der EU-Gesetzgebung beratend tätig ist, wurde 2007 das wissenschaftliche Forschungsprojekt PIGCAS gegründet. Derzeit ergibt der Blick über die geplanten Alternativen zur betäubungslosen Kastration ein recht uneinheitliches Bild (BORELL et al., 2008).

In der Schweiz sind die Landwirte seit 2009 dazu aufgerufen, die Kastration nur noch unter Betäubung durchzuführen. Das Verbot der Kastration ohne Schmerzausschaltung ist seit Ende 2005 im Tierschutzgesetz verankert, die Umsetzung wird ab 1. Januar 2010 gefordert. Zur Kastration unter Betäubung wird die Inhalationsnarkose mit Isofluran angewandt, außerdem steht zur immunologischen Kastration das Präparat Improvac[®] zur Verfügung (PROJEKT PROSCHWEIN, 2009). Zwischenzeitlich gab es Warnungen von der Schweizerischen Zulassungs- und Aufsichtsbehörde für Heilmittel, „swissmedic“, Isofluran nicht mehr an Landwirte abzugeben, da die schmerzausschaltende Wirkung von Isofluran nur in tiefer Narkose eintritt. Die Kombination mit anderen schmerzstillenden Mitteln wird deshalb dringend empfohlen. Desweiteren wird vor den Risiken einer unsachgemäß durchgeführten Narkose gewarnt, wie beispielsweise einem Atem- oder Herzstillstand, und darauf hingewiesen, dass es sich bei Isofluran um ein Treibgas mit klimaschädigender Wirkung handelt (SWISSMEDIC, 2008). Auch die Gesellschaft Schweizer Tierärztinnen und Tierärzte sieht die Kastration unter Inhalationsnarkose aus tierschützerischen und finanziellen Gründen nur als Notlösung. Stattdessen wird die Ebermast oder die Verwendung des Impfstoffes

Improvac[®] zur Eliminierung des Ebergeruchs empfohlen (GESELLSCHAFT SCHWEIZER TIERÄRZTINNEN UND TIERÄRZTE, 2008).

Norwegen verzichtet bereits seit 2002 auf die betäubungslose Ferkelkastration. Als Alternative wird hauptsächlich die Lokalanästhesie mit Lidocain angewandt. Tiere, die älter als sieben Tage sind müssen darüberhinaus ein geeignetes Schmerzmittel erhalten. Den Effekt der Lokalanästhesie schätzen 54 % der Tierärzte als gut ein. Unter den Landwirten liegt der Prozentsatz bei 19 %. Die Akzeptanz der Methode unter den Landwirten nahm jedoch in den ersten beiden Jahren der Anwendung zu (FREDRIKSEN und NAFSTAD, 2006). Das endgültige Verbot der Kastration war für Januar 2009 geplant. Inzwischen wurde die Frist um zwei Jahre verlängert, um der Suche nach Alternativen mehr Zeit zu geben (BEEK, 2008).

In den Niederlanden wird an der Umsetzung der CO₂-Narkose gearbeitet (ANIMAL SCIENCE GROUP 2007, TOP AGRAR ONLINE, 2008). Ab 2015 soll die betäubungslose Kastration ganz verboten werden. 2008 einigten sich Vertreter der Schweineproduktion darauf, einen Verzicht auf die betäubungslose Kastration anzustreben (PIGCAS, EU-PROJEKT, 2008). Staat und Wirtschaft haben gemeinsam einen Fonds eingerichtet, um die Ferkelerzeuger bei der Umstellung auf Kastration unter Betäubung finanziell unterstützen zu können.

BORELL et al. (2008) weisen allerdings darauf hin, dass in der Diskussion um die Alternativen zur betäubungslosen Kastration immer zwischen kurz- und langfristigen Lösungen unterschieden werden muss. Die chirurgische Kastration unter Betäubung, wie sie jetzt in einigen europäischen Ländern propagiert wird, kann demnach nur eine kurzfristige Lösung sein. Als längerfristige Lösungen werden züchterische und biotechnologische Methoden wie Spermasexing, die genetische Beeinflussung des Ebergeruchs oder die Immunokastration gesehen. Ergebnisse aus dem PIGCAS-Projekt zeigen, dass innerhalb Europas keine einheitliche Meinung zum Thema Kastration besteht. In Italien oder Ungarn wird die Kastration weiterhin befürwortet, während sich Vertreter aus Großbritannien oder den Niederlanden gegen die Kastration aussprechen. Entsprechend variiert auch die Akzeptanz der alternativen Methoden innerhalb der europäischen Länder (BORELL et al., 2008).

2.2 Indikationen für die Kastration männlicher Schweine

2.2.1 Entstehung von Ebergeruch

Grund für die Kastration männlicher Saugferkel in vielen europäischen Ländern ist der sogenannte Ebergeruch und -geschmack, der Fleisch von unkastrierten, männlichen Masttieren anhaftet.

Ebergeruch selbst wird vom Konsumenten als sehr unangenehm empfunden und als fäkal- und urinartig bezeichnet. Die fäkal riechende Komponente wird durch Skatol verursacht (ANDRESEN, 2006). Skatol, auch 3-Methyl-Indol genannt, entsteht im Dickdarm zusammen mit Indol durch den anaeroben Abbau der Aminosäure Tryptophan (DESLANDES et al., 2001). YOKOYAMA et al. (1977) konnten zeigen, dass vor allem ein bestimmter *Lactobacillus* Stamm daran maßgeblich beteiligt ist. Aus dem Darm wird Skatol resorbiert und gelangt über die Portalvene in die Leber. Dort wird Skatol teilweise metabolisiert, der Rest wird in Muskulatur und Fettgewebe eingelagert (ANDRESEN, 2006). Die Bildung von Skatol ist nicht geschlechtsspezifisch. Auch im Rückenspeck von Sauen kann Skatol nachgewiesen werden (GIBIS et al., 1998). Dass die Skatolkonzentrationen im Eberfleisch höher liegen als in Fleisch von Kastraten oder Sauen, liegt daran, dass die zweite Komponente des Ebergeruchs, Androstenon, den Abbau von Skatol in der Leber beeinflusst (BABOL et al., 1999).

Androstenon, auch 5α -androst-16-en-3-on genannt, wirkt als Pheromon und wird wie Testosteron in den Leydigzellen der Hoden gebildet (AHMAD und GOWER, 1968). Gespeichert in Fettgewebe und in den Speicheldrüsen der Eber, wird ihm die urin- oder auch schweißartige Komponente des Ebergeruchs zugeschrieben (PATTERSON, 1968). Androstenon ist bei Schweinen ein wichtiges Pheromon, da es bei der Paarung eine bedeutende Rolle spielt. Durch Patschen des Ebers bei Erkennen einer rauschigen Sau wird der Speichel aufgeschäumt und das mit dem Speichel abgesonderte Androstenon freigesetzt. Der Ebergeruchsstoff trägt dazu bei, dass bei rauschigen Sauen der Duldungsreflex ausgelöst wird. Stoffe mit Androstenonwirkung sind auch synthetisch herstellbar und werden in Sprayform zur Stimulation der Sau bei der künstlichen Befruchtung eingesetzt (MÖSTL, 2005). Der Gehalt an Androstenon nimmt ab der Pubertät stark zu (ZAMARATSKAIA et al., 2005). GIERSING et al. (2000) liefern Anhaltspunkte dafür, dass ein Eber mit hohen Androstenonkonzentrationen stimulierend auf die Androstenonproduktion seiner Buchtengenossen wirkt. Der individuelle Androstenongehalt ist außerdem genetisch

determiniert und auch rasseabhängig (XUE et al., 1996; BONNEAU, 2006). Deshalb weisen nicht alle Eber bei der Schlachtung typische Geruchsabweichungen auf.

Ebergeruch und -geschmack kann nicht von allen Menschen gleichermaßen wahrgenommen werden. Eine totale Anosmie gegenüber Androstenon ist bekannt (WYSOCKI et al., 1989; BREMNER et al., 2003). BREMNER et al. (2003) schätzen den Anteil gesunder Erwachsener, die Androstenon gar nicht wahrnehmen können, auf bis zu 5,96 %. Es zeigen sich geschlechtsspezifische sowie regionale Unterschiede. WEILER et al. (2000) vergleichen die Sensitivität spanischer und deutscher Konsumenten gegenüber Androstenon. Von den deutschen Probanden reagierten nur 18 % hoch sensitiv auf den Geruch, von den spanischen waren es 31 %. Hinweise auf eine genetische Determination der Osmie von Androstenon liegen vor (WYSOCKI und BEAUCHAMP, 1984). Außerdem sind mehr Frauen als Männer in der Lage, den Geruch wahrzunehmen (WEILER et al., 2000), was auch mit der Auslöser dafür sein kann, dass sie Ebergeruch und -geschmack im Fleisch weniger tolerieren als Männer (FONT I FURNOLS et al., 2003). MATTHEWS et al. (2000) zeigen in einer umfassenden Studie, dass innerhalb Europas die Sensitivität der Verbraucher gegenüber Skatol und Androstenon unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Britische Verbraucher empfinden Skatol als weniger unangenehm als andere europäische Verbraucher (MATTHEWS et al., 2000). WYSOCKI et al. (1989) zeigen, dass die Wahrnehmung des Geruchs gesteigert werden kann, indem er regelmäßig eingeatmet wird. Auch die Essgewohnheiten haben einen Einfluss darauf, wie stark der Ebergeruch empfunden wird. Je seltener Schweinefleisch konsumiert wird, desto weniger wird Ebergeruch und -geschmack akzeptiert (FONT I FURNOLS et al., 2003).

Obwohl der Anteil der Personen in der Bevölkerung, die Ebergeruch zuverlässig wahrnehmen können, relativ gering ist, wird befürchtet, dass der Absatz von Schweinefleisch nicht mehr gesichert ist, sollte geruchsbelastetes Fleisch oder Fleisch mit typischem Ebergeschmack in den Handel kommen. In der Schweiz hatten von 800 befragten Personen nur 16,4 % schon einmal bewusst Ebergeruch wahrgenommen. Ein Drittel dieser Leute reduzierte auf diese Erfahrung hin den Schweinefleischkonsum. Trotzdem würden über 63 % der befragten Personen keine Produkte kaufen, die aus geruchsbelastetem Fleisch hergestellt wurden, selbst dann nicht, wenn garantiert wird, dass keine Geschmacksabweichungen vorliegen und die Qualität sichergestellt werden kann (HUBER-EICHER und SPRING, 2008).

2.2.2 Verhalten geschlechtsreifer männlicher Schweine

Ein weiterer Grund für die routinemäßige Kastration männlicher Schweine ist das Verhalten geschlechtsreifer Eber. Um zu verhindern, dass weibliche Masttiere gedeckt werden, müssen intakte männliche und weibliche Tiere getrennt aufgestellt werden.

In reinen Ebergruppen kann aggressives Verhalten bis zu 90 % des Sozialverhaltens ausmachen (CRONIN et al., 2003). Aufreiten, das auf glatten Böden mit einer Verletzungsgefahr für die Tiere verbunden ist, wird in dieser Studie in Gruppen mit Ebern häufiger beobachtet als in Kastratengruppen. Auch BJÖRKLUND und BOYLE (2006) können nachweisen, dass in reinen Ebergruppen mehr Aufreiten gezeigt wird, als in Gruppen mit nur weiblichen Tieren. In gemischtgeschlechtlichen Gruppen wird zwar auch häufiger aufgeritten als in Sauengruppen, allerdings nimmt dies mit zunehmender Mastdauer ab.

Das Ausmaß von Hautverletzungen bei Ebern in einer Gruppe nimmt zu, wenn gegen Ende der Mast die schwersten Tiere herausgenommen werden. BJÖRKLUND und BOYLE (2006) erklären das mit zunehmenden Rangordnungskämpfen die stattfinden, sobald ranghohe Tiere entfernt werden. Zudem ist aggressives Verhalten während der Fütterung in Ebergruppen ausgeprägter als in gemischtgeschlechtlichen Gruppen oder Sauengruppen (BJÖRKLUND und BOYLE, 2006).

2.3 Betäubungslose chirurgische Saugferkelkastration unter Berücksichtigung der Anatomie der Hoden und Hodenhüllen

Derzeit übliche Praxis in Deutschland ist die betäubungslose Kastration von unter acht Tage alten Ferkeln. Bei älteren Tieren oder bei Vorliegen anatomischer Besonderheiten muss laut §5 (3) 1a TierSchG unter Betäubung kastriert werden. Untersuchungen von WHITE et al. (1995) zeigen, dass der Eingriff in der ersten Lebenswoche mit weniger Stress für die Tiere verbunden ist als zu einem späteren Zeitpunkt. LACKNER (2003) weist nach, dass die Wundheilung in der ersten Lebenswoche schneller und komplikationsloser verläuft als im fortgeschrittenen Alter.

Der Eingriff kann von einer geübten Person allein durchgeführt werden und dauert pro Ferkel etwa eine halbe Minute (SCHULZ, 2007). Bei der von HEINRITZI (2006b) beschriebenen Methode wird das Tier in einer handelsüblichen Kastrationsvorrichtung, unter dem Arm oder zwischen den Knien fixiert. Die Hoden werden nach kaudal verlagert. Mit einem Skalpell werden zwei Schnitte parallel zur *Raphe scroti* gesetzt, die bis ins Hodenparenchym reichen.

PLONAIT (2004) beschreibt eine Methode, bei der nur ein Hautschnitt angebracht wird, durch den beide Hoden entwickelt werden können. Bei beiden Methoden werden die äußere Haut mit der Muskelhaut (*Tunica dartos*), die *Fascia spermatica externa* und die Faszie des *Musculus cremaster* durchtrennt und der *Processus vaginalis* eröffnet. Es handelt sich also um eine unbedeckte Kastration. Die Hoden mit Nebenhoden werden gefasst und mit einem Skalpell oder einem Emaskulator auf Höhe des Samenstranges abgesetzt. Der *Musculus cremaster*, der *Ductus deferens*, die *Arteria* und *Vena testicularis*, der *Plexus testicularis* sowie die Lymphgefäße des Hodens werden so durchschnitten. Eine Ligation erfolgt in diesem Alter nicht. Die Kastrationswunden werden nicht verschlossen, können aber lokal mit antibakteriellem Spray versorgt werden (HEINRITZI, 2006b; GASSE, 2004; PLONAIT, 2004).

Die Innervation der Hoden und Hodenhüllen erfolgt über Ventraläste von Rückenmarksnerven und durch Anteile des vegetativen Nervensystems. Der *Plexus testicularis* übernimmt die vegetative Innervation des Hodens und bildet sich aus Fasern des *Truncus sympathicus* und des *Truncus vagalis dorsalis*. Die Haut des Hodensackes wird durch die *Nervi scrotales dorsales* und den *Nervus dorsalis penis* sensibel innerviert, beides Äste des *Nervus pudendus*. Die *Tunica vaginalis* des Scheidenhautfortsatzes ist sensibel innerviert über den *Nervus genitofemoralis* aus dem Lendengeflecht, der auch die motorische Innervation des *Musculus cremaster* übernimmt (GASSE, 2004; NICKEL et al., 2004). Schmerzrezeptoren sind demnach vornehmlich in den Hodenhüllen und weniger im Organparenchym zu finden.

2.4 Schmerz

SANN (2005) definiert Schmerz bei Tieren als eine „aversive sensorische Erfahrung, die durch aktuelle oder potentielle Verletzungen verursacht wird, die protektive motorische oder vegetative Reaktion auslöst, zur erlernten Vermeidung solcher Reize führt und somit das Verhalten modifiziert“.

2.4.1 Schmerzentstehung und Schmerzwahrnehmung

Die Schmerzperzeption entsteht mit der Aktivierung von Nozizeptoren (Schmerzsensoren oder -rezeptoren). In der Haut gibt es verschiedene Typen von Schmerzsensoren. Die Mechanonozizeptoren, mit schnell leitenden, myelinisierten Nervenfasern, die sehr hochschwellig sind und sich erst durch hohe, noxische mechanische Reize erregen lassen,

werden für den schnellen, scharfen Schmerz verantwortlich gemacht. Die langsamer leitenden, unmyelinisierten C-Fasern der polymodalen Nozizeptoren, die auf mechanische Reize wie Quetschungen, auf thermische Reize wie Kälte und auf chemische Noxen reagieren, bewirken den beim Menschen als langsam, dumpf oder brennend beschriebenen Schmerz. Eine weitere Gruppe von Schmerzrezeptoren sind die schlafenden Nozizeptoren. Sie werden als solche bezeichnet, weil sie von physiologischen Reizen nicht erregt werden können, wohl aber von pathologischen, wie zum Beispiel einer Entzündung oder Ischämie. Sie spielen beim Entzündungsschmerz eine Rolle.

Nozizeptoren sind freie Nervenendigungen, die nach Erregung elektrische Signale entsenden. Die afferenten Nervenfasern erreichen zunächst das Dorsalhorn des Rückenmarks, werden dort umgeschaltet und kreuzen zur Gegenseite des Rückenmarks. Bereits auf dieser Stufe der Signalweiterleitung kann eine Einwirkung auf motorische Systeme im Ventralhorn erfolgen, die beispielsweise den Wegziehreflex zur Folge haben. Auch eine Aktivierung der präganglionären, sympathischen Neurone im Seitenhorn ist möglich, wodurch sympathische Reflexe ausgelöst werden können. Die Axone der nozizeptiven Dorsalhornneurone laufen im Rückenmark weiter zum Thalamus, der *Formatio reticularis* im Hirnstamm und zum Mittelhirn. In Zusammenwirken mit dem Cortex und dem limbischen System kann der schmerzhaft Reiz lokalisiert werden und auch die affektive Komponente von Schmerzen, wie beispielsweise Aggressivität, hat hier ihren Ursprung. Durch Aktivierung von Hirnstamm und Hypothalamus werden weitere vegetative Reaktionen auf Schmerzen umgesetzt, wie die Erhöhung von Atem- und Herzfrequenz oder die Aktivierung des Nebennierenmarks. Absteigende motorische Bahnen führen zu motorischen Reaktionen auf Schmerzen, wie beispielsweise Abwehrbewegungen oder Flucht (SANN, 2005).

2.4.2 Schmerz bei Neugeborenen

Wie ANAND und HICKEY (1987) schildern wurde lang davon ausgegangen, dass Neugeborene nicht wie Erwachsene in der Lage sind, Schmerzen zu empfinden. Diese Annahme führen sie darauf zurück, dass Neonaten scheinbar Schmerzen weder bewusst wahrnehmen noch lokalisieren können und dass kein Erinnerungsvermögen an erfahrenen Schmerzen besteht. Außerdem wurde eine hohe Schmerzschwelle postuliert, die Neonaten vor Schmerzen während des Geburtsvorganges schützen sollte. STERNBERG et al. (2005) kommen zu dem Ergebnis, dass eine Laparotomie an neonaten Mäusen ohne folgende Analgesie zu verminderten Reaktionen auf standardisierte Schmerzreize im Erwachsenenalter

führt. Sie vermuten, dass es bei Neonaten durch Schmerzen zu einer vermehrten endogenen Opioidproduktion kommt oder die Opioidrezeptordichte zunimmt.

HENKE und ERHARDT (2001a) vertreten jedoch die Ansicht, dass die Schmerzreaktion neugeborener Säugetiere zwar noch ungerichtet, aber vorhanden ist. Vielmehr sind Neugeborene eher als überempfindlich gegenüber Schmerzen zu betrachten, da bei ihnen körpereigene Hemmmechanismen noch nicht vollständig ausgebildet sind. So können schmerzhaft Reize bei Neonaten zur Hyperalgesie und Allodynie führen (ERHARDT und LENDL, 2004). ANAND et al. (1999) zeigen, dass neugeborene Ratten durch wiederholte Schmerzreize post partum ein anderes Schmerzverhalten und vermutlich auch eine niedrigere Schmerzschwelle aufweisen. RUDA et al. (2000) beschreiben, dass artifiziell gesetzte periphere Entzündungen bei Neonaten zu veränderten nervalen Strukturen im Rückenmark führen. Diese führen zu einer veränderten Schmerzreaktion. In einer von ihnen durchgeführten Studie wurde neugeborenen Ratten durch Injektion einer reizenden Flüssigkeit eine Entzündung an den Hinterpfoten gesetzt, die etwa eine Woche lang anhielt. Im Erwachsenenalter hatten diese Tiere eine erhöhte Zahl an afferenten sensorischen Fasern im Ischiasnerv, die außerdem mit den nozizeptiven Neuronen im Dorsalhorn in Verbindung standen. Diese Neuronen im Dorsalhorn waren hyperexzitativ und hatten eine erhöhte Aktivität.

2.4.3 Evaluierung von Schmerzen

Da Schmerz immer eine individuelle Empfindung ist, treten Schwierigkeiten auf, sobald diese subjektiven Erfahrungen in objektive und für Studien vergleichbare Werte umgewandelt werden sollen.

FRANCK et al. (2000) geben einen Überblick über die Möglichkeiten der Schmerzevaluation in der Humanmedizin. Die Beobachtung schmerzspezifischer Verhaltensweisen wird vor allem bei Kindern angewandt, die sich noch nicht selbst artikulieren können. Die Schwierigkeit liegt darin, dadurch die Stärke der Schmerzen adäquat einzuschätzen sowie Angstreaktionen von Schmerzreaktionen zu unterscheiden. Dieses Problem tritt auch bei der Messung physiologischer Parameter auf. Physiologische Veränderungen, die durch die schmerzbedingte Sympathikusstimulation bedingt sind, wie beispielsweise eine Steigerung der Herzfrequenz, sind nicht unbedingt schmerzspezifisch. Angst und Stressreaktionen können ähnliche physiologische Veränderungen hervorrufen. Als „Gold Standard“

bezeichnen FRANCK et al. (2000) deshalb Eigenauskünfte. Schulkinder und Erwachsene sind meist auch in der Lage, differenzierte Auskünfte über die Lokalisation und Qualität des Schmerzes zu geben.

Differenzierte Eigenauskünfte werden mit dem „McGill pain questionnaire“ erreicht (MELZACK, 1975, MAWHORTER et al., 2004). Dieser Fragebogen muss mit dem Patienten beantwortet werden. So können Lokalisation des Schmerzes, Verlauf und Stärke der Schmerzen erfasst werden. Der Patient muss aus mehreren Ausdrücken die auswählen, die den persönlichen Schmerz am besten beschreiben. Dabei werden sowohl die sensorischen, als auch die affektiven und evaluativen Komponenten des Schmerzes mit berücksichtigt (MELZACK, 1975).

Eine weitere verbreitete Methode zur Schmerzevaluation beim Menschen ist die Verwendung eines Visual Analogue Scale (VAS) (COSTELLO et al., 2006; FARION et al., 2008; HARTSTEIN und BARRY, 2008). Dabei werden die Probanden aufgefordert, den empfundenen Schmerz in einer meist 100 mm langen Scala einzutragen. Diese Art der Schmerzevaluierung ist dabei von besonderem Nutzen, wenn an Individuen Änderungen in deren Schmerzwahrnehmung festgestellt werden sollen. Um innerhalb von Personengruppen den zu einem bestimmten Zeitpunkt empfundenen Schmerz zu vergleichen, ist diese Methode weniger geeignet (CRICHTON, 2001). Für die Eigenberichte bei Kindern können stattdessen Grafiken verwendet werden, die Gesichter zeigen. Von den Gesichtern kann das Kind dasjenige auswählen, das sein eigenes Schmerzempfinden widerspiegelt. Den Gesichtern sind verschiedenen hohe Punktzahlen zugeteilt, die dann zur objektiven Schmerzbeurteilung herangezogen werden (RAMSOOK et al., 2001).

In der Tiermedizin kann wie bei Kleinkindern nur die Messung physiologischer Parameter und die Verhaltensbeobachtung durchgeführt werden (FRANCK et al., 2000). Bei der Evaluierung von Schmerzen bei Tieren durch Menschen tritt jedoch das Problem der Subjektivität auf. So zeigen Untersuchungen von MEUSER (2006), dass die Einschätzung von Schmerzen, die Tiere bei gewissen Eingriffen haben, unter anderem auch von Geschlecht, Beruf und persönlicher Leiderfahrung der evaluierenden Person abhängig ist. Interessant ist, dass scheinbar auch die Tierart beeinflusst, wie stark Menschen von Tieren empfundene Schmerzen einschätzen. Bei Meerschweinchen werden bei den gleichen Eingriffen beispielsweise höhere Schmerzen vermutet als beim Hund.

MORTON und GRIFFITHS (1985) beschreiben als speziesübergreifende Reaktionen von Tieren auf Schmerzen, neben den Verhaltensänderungen, auch Veränderungen im äußeren Erscheinungsbild, Verminderung der peripheren Zirkulation und Veränderung der Pulsqualität, Steigerung von Atem- und Herzfrequenz, aber auch nervöse und muskuloskelettale Veränderungen wie Zittern oder abnorme Körperhaltungen. Bedingt sind diese Anzeichen vornehmlich durch sympathische und vegetative Reaktionen des Körpers auf schmerzhafte Stimuli. Schmerz stellt einen Reiz dar, der beim Tier Stress und die damit verbundenen vegetativen Reaktionen bedingt. So wird durch Schmerz aufgrund der sympathischen Stimulation Cortisol aus der Nebennierenrinde ausgeschüttet. Durch Stimulation des Nebennierenmarks werden Katecholamine freigesetzt (HENKE und ERHARDT, 2001a und b).

MELLOR und STAFFORD (2004) geben an, dass die Dauer der hormonellen Reaktionen auf Schmerzreize unterschiedlich ist. So hat Adrenalin zwischen zwei und fünf Minuten nach dem schmerzhaften Ereignis maßgeblichen Einfluss auf die Körperfunktionen, wodurch es besonders gut geeignet ist, den direkten Effekt eines Eingriffs abzuschätzen. Noradrenalin hingegen ist bis eine Stunde nach dem Eingriff erhöht und eignet sich als Index für das Ausmaß der Gewebeerstörung. Je nach Art des Schmerzstimulus liegen die Cortisolkonzentrationen im Blut zwei bis acht Stunden lang über den Basalwerten, steigen aber vergleichsweise träge an. Aus diesem Grund empfehlen diese Autoren Cortisol als wertvollen Parameter, um die schmerzbedingte Stressreaktion einzuschätzen. Sie weisen aber auch darauf hin, dass vor allem bei geringen Schmerzen Herzfrequenz und Blutdruck sensitivere Schmerzparameter sind, wenn sichergestellt werden kann, dass diese nicht durch die Messung selbst verändert werden. Von Bedeutung im Zusammenhang mit dem Schmerzgeschehen ist das Ausmaß der neuroendokrinen Stressreaktion auch deshalb, weil laut ERHARDT und HENKE (2001b) Schmerz, Stress und Angst immer in Zusammenhang miteinander betrachtet werden müssen. Sie postulieren, dass ein Tier, das unter Angst oder Stress ein schmerzhaftes Ereignis erlebt, eine niedrigere Schmerzschwelle aufweist und stärker Schmerz empfindet, als ein Tier ohne Angst.

2.4.4 Schmerzhaftigkeit der chirurgischen Saugferkelkastration

Bei der Saugferkelkastration werden die Hodenhüllen mit dem *Processus vaginalis* und meist auch der Hoden selbst inzidiert. Die Haut kann je nach Verteilung und Art der Schmerzrezeptoren im betroffenen Gebiet unterschiedlich sensibel auf Schmerzen reagieren.

Seröse Membranen sind als sehr schmerzsensibel anzusehen (HENKE und ERHARDT, 2001a). Die innere seröse Schicht des *Processus vaginalis*, die *Lamina parietalis* der *Tunica vaginalis*, und die den Hoden umgebende Organserosa (*Lamina visceralis*) gehören zu den serösen Häuten und sind demnach als sehr schmerzempfindlich zu betrachten (GASSE, 2004).

WALDMANN et al. (1994) nahmen elektroenzephalographische Messungen an Ferkeln während der Kastration vor. Durch eine Allgemeinnarkose mit Thiopental wurden Bewegungsartefakte reduziert. Trotz der Narkose zeigen die Messungen verstärkte Hirnaktivität während der Kastration. Sie stufen die Ferkelkastration deshalb als akut schmerzhaften Eingriff ein.

WHITE et al. (1995) zeigen in einer Studie, dass während des Kastrationsvorganges bei Vorverlagerung der Hoden und Ligation der Samenstränge Lautäußerungen mit einer bestimmten Frequenz und Dezibelzahl gehäuft auftreten. Diese Manipulationen werden deshalb als sehr schmerzhaft angesehen. Zu diesem Schluss kommen auch MARX et al. (2003). Dabei werden vor allem hochfrequente Schreie und die Klangqualität verschiedener Lautäußerungen beurteilt. Die Herzfrequenz steigt jedoch bei Anbringen des Hautschnittes und Fassen des Samenstranges deutlicher an (WHITE et al., 1995). Auch TAYLOR und WEARY (2000) halten den Zug am Samenstrang und das Durchtrennen des selbigen für den schmerzhaftesten Teil des Eingriffs.

ZÖLS et al. (2006), LANGHOFF (2008) und SCHULZ et al. (2007a) können einen signifikanten Cortisolanstieg nach Kastration im Vergleich zu nichtkastrierten Ferkeln nachweisen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch PRUNIER et al. (2005). Sie zeigen außerdem einen signifikanten Anstieg des ACTH Plasmaspiegels etwa fünf bis sechzig Minuten nach dem Eingriff. HAY et al. (2003) stellen deutliche Verhaltensveränderungen nach der Kastration von fünf Tage alten Ferkeln im Vergleich zu unkastrierten Buchtengenossen fest. Dazu gehören unter anderem Schwanzwackeln, Rutschen auf dem Hinterteil oder zusammengekauerte Körperhaltung. Sie postulieren, dass kastrationsbedingte Schmerzen bis zu vier Tage lang andauern. Auch LANGHOFF (2008) stellt vermehrt schmerzbedingte Verhaltensweisen nach der Kastration fest.

2.5 Alternativen zur betäubungslosen chirurgischen Saugferkelkastration

2.5.1 Kastration mit Kryoanalgesie und Lokalanästhetikum

Die Methode der chirurgischen Ferkelkastration unter Kryoanalgesie und Lokalanästhesie wurde von GASTEINER et al. (2008) etabliert. Bei der „Gasteiner Methode“ werden die Ferkel in Rückenlage fixiert und lokal desinfiziert. Der Skrotalbereich wird mit einem Kältespray aus etwa zehn Zentimeter Entfernung für vier bis fünf Sekunden vereist, die Hautschnitte werden gesetzt und die Hoden vorverlagert. Der Samenstrang und der *M. cremaster* werden mit einer Klemme nach Péan gefasst und mit einer Skalpellklinge abgesetzt. Im Anschluss werden auf den Stumpf, den Hautwundrand und in die Wundhöhle Lidocain 2 % mit Epinephrin, das zuvor in ein Sprühfläschchen umgefüllt wurde, aufgetragen. Die Klemme wird gelöst und mit dem Hoden der zweiten Seite wird auf gleiche Weise verfahren. Rückschlüsse auf die Effektivität dieser Methode im Vergleich zur betäubungslosen Kastration werden basierend auf Verhaltensbeobachtung und Messung der Serumcortisolkonzentrationen gezogen. Die Forschergruppe kann bei den nach dieser Methode kastrierten Tieren eine halbe Stunde *post castrationem* tendenziell niedrigere Cortisolwerte feststellen als bei den unbehandelt kastrierten Tieren. Außerdem zeigten die unbehandelt kastrierten Ferkel schmerzspezifische Verhaltensweisen, die bei Tieren, die nach der „Gasteiner Methode“ kastriert wurden, nicht zu beobachten waren.

GASTEINER et al. (2008) beschreiben diese Methode als praktikabel für ungeschulte Personen, der Zeitaufwand beträgt in dieser Studie 30 Sekunden mehr als eine betäubungslose Kastration. Mit Mehrkosten von 25 Cent pro Ferkel ist diese Methode laut GASTEINER et al. (2008) vergleichsweise kostengünstig. Aus Cortisolmessungen und Verhaltensbeobachtungen schließen die Autoren, dass kastrationsbedingte Schmerzen mit dieser Methode gelindert werden können. Wundheilungsstörungen können bis eine Woche nach dem Eingriff nicht festgestellt werden. Zu beachten ist, dass in Deutschland Lidocain nicht für Schweine zugelassen ist und eine Betäubung laut §5 Absatz 1 TierSchG nur durch den Tierarzt durchgeführt werden darf (VETIDATA, 2009).

HAIMEL (2008) zeigt anhand einer Studie, dass die Kryoanalgesie von Skrotalhaut und Samenstrang in Kombination mit dem Aufbringen des Lokalanästhetikums Lidocain in Sprayform nicht dazu geeignet ist, die neuroendokrine Stressreaktion der Ferkel auf die Kastration zu mindern. Das Absetzen der Hoden wird in dieser Arbeit mit einem Emaskulator vorgenommen. HAIMEL (2008) vermutet, dass es dadurch zu einer groben Manipulation des Samenstranges kommt, wodurch zusätzliche Schmerzen entstehen.

Einen ähnlichen Versuch führte FETTINGER (2008) durch. In dieser Studie wird die Kryoanalgesie von Skrotum und Samenstrang mit einer präoperativen Gabe von Ketoprofen und dem intraoperativen Aufsprühen von Lidocain kombiniert. Das Absetzen der Hoden erfolgt ebenfalls mit einem Emaskulator. Sowohl 30 als auch 60 Minuten nach der Kastration kann kein signifikanter Unterschied zur unmediziert kastrierten Kontrollgruppe festgestellt werden. Die Cortisolwerte der so behandelten Gruppe sind aber tendenziell niedriger und fallen zwischen 30 und 60 Minuten als einzige signifikant ab. In dieser Studie fällt auf, dass die Kontrollgruppen, die nur vereist werden oder Ketoprofen appliziert bekommen, aber nicht kastriert werden, nach 30 bzw. 60 Minuten ebenfalls signifikant höhere Cortisolwerte im Vergleich zum Basalwert aufweisen.

2.5.2 Chirurgische Kastration mit anderen Methoden der Analgesie und Anästhesie

2.5.2.1 Chirurgische Kastration mit Lokalanästhesie

Lokalanästhetika werden vor allem in Norwegen bei der Saugferkelastration eingesetzt (FREDRIKSEN und NAFSTAD, 2006). Sie bewirken eine Senkung der Membranpermeabilität für Natrium-Ionen und in höherer Dosierung auch Kalium-Ionen, wodurch die Weiterleitung von Aktionspotentialen verhindert wird. Informationen über Schmerzreize können so nicht mehr an Rückenmark oder Gehirn weitergeleitet werden. Je nach Applikationsart kann man die Oberflächenanästhesie, die Infiltrationsanästhesie und die Leitungsanästhesie unterscheiden. Die Oberflächenanästhesie wird auf Schleimhäuten angewandt. Bei der Infiltrationsanästhesie wird das Lokalanästhetikum subkutan oder intrakutan gespritzt, infiltriert das umliegende Gewebe und gelangt schließlich zu den Nervenfasern, wo es lokal die Schmerzweiterleitung blockiert. Bei der Leitungsanästhesie wird ein Nerv direkt umspritzt, wodurch das gesamte Innervationsgebiet des Nerven anästhesiert wird (LÖSCHER, 2006a).

In vielen Studien zum Einsatz von Lokalanästhetika bei der Ferkelkastration wird Lidocain verwendet, meist mit Zusatz des Sperrkörpers Adrenalin (HORN et al. 1999; GUTZWILLER, 2003; HAGA und RANHEIM, 2005; FREDRIKSEN und NAFSTAD, 2006; FETTINGER, 2008; GASTEINER et al., 2008; HAIMEL, 2008). Die Applikation erfolgt als Injektion subkutan ins Skrotum, intratestikulär und/oder intrafunikulär oder als Spray. Da in Deutschland Procain für Schweine zugelassen ist und damit kein Therapienotstand im Sinne

von §56a Abs. 2 AMG besteht, kann Lidocain nicht umgewidmet werden (VETIDATA, 2009).

Der Sperrkörper wird verwendet, um durch Vasokonstriktion im Applikationsgebiet die Wirkdauer des Lokalanästhetikums zu verlängern und um die Gefahr von systemischen Nebenwirkungen und Blutungen zu vermindern. Als Substanzen werden Adrenalin und Noradrenalin eingesetzt. Durch den Sperrkörper und die damit verbundene verminderte Durchblutung des Wundbereichs kann aber auch die Wundheilung gestört werden. Ein weiteres Risiko bei Präparaten mit Sperrkörperzusatz besteht bei versehentlicher intravasaler Injektion durch systemische Nebenwirkungen des Sperrkörpers. Die Wirkdauer beträgt bei Lidocain etwa 60-90 Minuten, mit Sperrkörper bis zu vier Stunden. Mit dem Wirkungseintritt ist nach zwei bis fünf Minuten zu rechnen. Im Gegensatz dazu beträgt die Anflutungszeit von Procain fünf bis zehn Minuten, die lokalanästhetische Wirkung hält etwa eine halbe Stunde lang an. Mit Sperrkörperzusatz kann diese Zeitspanne auf etwa eine Stunde verlängert werden (BIEL, 2005; LÖSCHER, 2006a).

WHITE et al. (1995) zeigen, dass Ferkel, denen vor der Kastration subkutan über den Hoden und im Bereich des Samenstranges Lidocain injiziert wurde, während der Kastration eine niedrigere Herzfrequenz aufzeigen als die ohne Anästhesie kastrierten Kontrolltiere. Auch die auf Schmerzen hinweisende Vokalisation kann durch eine Lokalanästhesie mit Lidocain positiv beeinflusst werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen HORN et al. (1999). In einer Studie vergleichen sie die intratestikuläre und subkutane Applikation von Lokalanästhetikum mit der betäubungslosen Saugferkelkastration. Als Schmerzparameter dienen Abwehrbewegungen und Vokalisation während der Kastration. Durch intratestikulär applizierte Lokalanästhesie können Abwehrbewegungen bei Durchtrennen des Samenstranges reduziert werden. Die subkutane Injektion führt nur zu einer geringfügigen Reduktion der Abwehrbewegungen beim Hautschnitt.

Im Gegensatz dazu weisen Vokalisationsuntersuchungen von RITTERSHAUS (2009) auf eine gute Schmerzausschaltung während des Hautschnittes durch die vorherige subkutane Injektion von Procain im Skrotalbereich hin. Die Lautanalyse gibt außerdem Hinweise auf erhebliche Schmerzen während der intratestikulären Injektion des Procains, aber auch auf eine Minderung der intraoperativen Schmerzen nach erfolgter intratestikulärer Lokalanästhesie.

ZANKL (2007) untersucht Procain und Lidocain bezüglich ihrer Wirksamkeit bei der Saugferkelkastration. Als Parameter dient unter anderem die Cortisolkonzentration im Serum.

Die Serumcortisolspiegel nach Kastration werden durch die präoperative, intratestikuläre Applikation von Procain mit oder ohne Sperrkörperzusatz nicht unter das Niveau der ohne Betäubung kastrierten Ferkel gesenkt. Die Ferkel, denen Lidocain intratestikulär oder Procain intraskrotal appliziert wurde, haben eine Stunde nach Kastration sogar signifikant höhere Cortisolwerte als die ohne Betäubung kastrierten Tiere. ZÖLS (2006) zeigt bei präoperativer, intratestikulärer Applikation von Procainhydrochlorid ebenfalls einen Anstieg des Serumcortisolspiegels eine Stunde nach Kastration über das Niveau betäubungslos kastrierter Tiere. Durch die alleinige intratestikuläre Applikation von Kochsalzlösung oder Lokalanästhetikum ohne darauffolgende Kastration kann in der Studie von ZANKL (2007) keine neuroendokrine Stressreaktion ausgelöst werden.

HAGA und RANHEIM (2005) führen einen Versuch über die Schmerzhaftigkeit von intratestikulärer und intrafunikulärer Injektion von Lidocain an Ferkeln in Halothan-Narkose mit anschließender Kastration durch. Als Schmerzparameter werden Veränderung der Pulsfrequenz, des mittleren arteriellen Blutdrucks und des EEG verwendet. Trotz Halothan-Narkose reagieren alle Tiere im EEG und kardiovaskulär auf die Kastration. Als Ursache für die verminderte schmerzausschaltende Wirkung wird eine unzureichende Verteilung des Lidocains im Gewebe und dadurch eine unzureichende nervale Blockade in Betracht gezogen. Die Reaktion auf intratestikuläre oder intrafunikuläre Injektion ist allerdings geringer als die Reaktion auf die Kastration ohne Lidocain. Es wird angenommen, dass die Injektionen weniger schmerzhaft als die Kastration sind. Außerdem ist die Schmerzreaktion auf Kastration unter Lokalanästhesie signifikant geringer als auf betäubungslose Kastration. Obwohl die Applikation selbst eine Stressreaktion hervorruft, scheint die Lokalanästhesie nach HAGA und RANHEIM (2005), LEIDIG et al. (2009) und RITTERSHAUS (2009) geeignet, intraoperativen Kastrationsschmerz zu vermindern.

RANHEIM et al. (2005) untersuchen die Verteilung von radioaktiv markierten Lokalanästhetikum (Lidocain mit Sperrkörper) im Hoden zu verschiedenen Zeitpunkten. Demnach diffundiert das Lokalanästhetikum nach kombinierter intratestikulärer und intraskrotaler Injektion rasch in den Samenstrang. Höchste Konzentrationen werden nach drei Minuten gemessen. Der *Musculus cremaster* wird nur mäßig infiltriert.

Die Kosten für die von einem Tierarzt durchgeführte Lokalanästhesie betragen - basierend auf eine niederländische Studie - ca. zwei Euro pro Bucht mit fünf männlichen Tieren bei Verwendung von Lidocain (EIJCK et al., 2007). In Deutschland ist nur Procain für Schweine zugelassen. Da eine Abgabe an den Tierhalter nicht möglich ist, muss zusätzlich zu den

Arzneimittelkosten noch mit Ausgaben für den Tierarzt gerechnet werden (VETIDATA, 2009).

2.5.2.2 Chirurgische Kastration unter Einsatz von Analgetika

In QS zertifizierten Betrieben in Deutschland ist derzeit die präoperative Gabe von Analgetika vor der Saugferkelkastration vorgeschrieben. Zum Einsatz kommen die Nicht-Opioid Analgetika Meloxicam, Metamizol und Flunixin. Es sind für alle drei Wirkstoffe Präparate auf dem Markt, die für Schweine zugelassen sind. Bisher ist kein Präparat für die perioperative Schmerzlinderung bei der Ferkelkastration zugelassen, laut § 56a Abs. 2 Nr. 1 AMG dürfen die Arzneimittel jedoch hierfür aufgrund des Therapienotstandes umgewidmet und an den Landwirt abgegeben werden. Dieser steht dabei aber gemäß § 56a Abs. 2 Satz 2 AMG unter Aufsicht des betreuenden Tierarztes.

Nicht-steroidale Antiphlogistika wirken durch Hemmung der Aktivität der Cyclooxygenase und Lipooxygenase. Da diese Enzyme eine Schlüsselfunktion einnehmen in der Bildung von Prostaglandinen, Leukotrienen und Thromboxanen, werden diese Entzündungs- und Schmerzmediatoren vermindert synthetisiert. Flunixin und Meloxicam wirken besonders spezifisch auf die Cyclooxygenase 2, wodurch weniger Prostaglandin 2 synthetisiert wird. Prostaglandin 2 wird im Entzündungsgebiet für die Steigerung der Sensibilität der Nozizeptoren und damit einer Hyperalgesie im entzündeten Gebiet verantwortlich gemacht. Durch Gabe nicht-steroidaler Antiphlogistika wird deshalb vor allem der postoperative Schmerz gelindert, für Flunixin und Metamizol besteht aber auch eine Wirksamkeit gegen viszerale, kolikartige Schmerzen (UNGEMACH, 2006; ZÖLS et al., 2006).

ZÖLS et al. (2006) und BREITINGER (2009) zeigen, dass bei präoperativer Gabe des nicht-steroidalen Antiphlogistikums Meloxicam kastrierte Ferkel nach der Kastration signifikant niedrigere Cortisolwerte aufweisen als unbehandelt kastrierte Tiere. LANGHOFF (2008) beschreibt diesen Effekt für Meloxicam und Flunixin, bei Einsatz von Metamizol ist die verminderte Ausschüttung von Cortisol weniger stark ausgeprägt, aber erkennbar. Kastrationsbedingte, schmerzspezifische Verhaltensweisen werden bei präoperativer Anwendung von Meloxicam und Flunixin deutlich weniger gezeigt (LANGHOFF, 2008). Eine neuere Untersuchung überprüft, ob auch eine kombinierte Eisen-Schmerzmittelgabe möglich ist. BARZ (2009) untersucht den Einfluss verschiedener oraler und parenteraler Eisen-Meloxicam Kombinationen auf Gehalte von Eisen und Cortisol im Blut. Sie zeigt, dass

durch die intramuskuläre Verabreichung eines Eisen-Meloxicam-Gemisches die Cortisolwerte nach Kastration im Vergleich zur Kontrollgruppe gesenkt werden können und eine Erhöhung des Eisenspiegels gewährleistet ist. Eine gegenseitige Beeinflussung der jeweiligen Präparate durch die Eisen/Schmerzmittel Kombination ist nicht erkennbar.

2.5.2.3 Kastration unter Isofluran-Inhalationsnarkose

Isofluran gehört zu den Inhalationsnarkotika. Bei Isofluran-Mononarkose durchschreiten die Tiere die verschiedenen Narkosestadien. Schmerzausschaltung liegt im Stadium der chirurgischen Toleranz vor. Risiken sind eine zu tiefe Narkose, die mit dem Stadium der Asphyxie und der Hemmung des Atem- und Kreislaufzentrums im Hirnstamm einhergeht. Überempfindlichkeitsreaktionen von Schweinen auf Isofluran, die sich in maligner Hyperthermie zeigen, sind bekannt (ERHARDT und HENKE, 2004; LÖSCHER, 2006b). Als Vorteil der Isofluran-Narkose gilt gerade im Bereich der Saugferkelkastration die schnelle Erholungsphase. Diese variiert zwischen 126 Sekunden laut WALKER et al. (2004) und 152 Sekunden laut SCHULZ (2007). Die Einleitungsphase dauert dabei 90 Sekunden. Bis die Ferkel nach der Kastration wieder Brustlage einnehmen vergehen in letztgenannter Studie durchschnittlich 25 Sekunden.

Präparate, die Isofluran enthalten, sind unter anderem für Pferde zugelassen und können laut §56a Abs. 2 AMG für das Schwein umgewidmet werden (VETIDATA, 2009). Laut Tierschutzgesetz §5 Abs. 1 Satz 2 muss die Betäubung warmblütiger Tiere von einem Tierarzt vorgenommen werden. Eine Abgabe an den Landwirt ist deshalb nicht möglich.

Eine zerstörende Wirkung halogenierter Inhalationsnarkotika auf die Ozonschicht ist bekannt, ihr Einfluss wird aber als sehr gering eingestuft (RADKE und FABIAN, 1991; LANGBEIN et al., 1999). Die Schweizer Zulassungs- und Aufsichtsbehörde für Heilmittel „swissmedic“ weist jedoch darauf hin, dass die klimaschädigende Wirkung etwa 1000 Tonnen CO₂ entspräche, würden alle Ferkel in der Schweiz unter Isofluran-Narkose kastriert.

SCHULZ et al. (2007a) zeigen, dass die Allgemeinanästhesie mit Isofluran nicht ausreicht, um die postoperativen Schmerzen zu lindern, die Narkose selbst aber keine Stresssituation für die Ferkel darstellt. Diese Ergebnisse werden von einer weiteren Studie, bei der die Katecholaminausschüttung nach Narkose ermittelt wird, gestützt (SCHULZ et al., 2007b).

WALKER et al. (2004) beobachten Verhalten und Vokalisation bei Ferkeln die mit und ohne Isofluran-Narkose kastriert werden. Zusätzlich werden β -Endorphin und ACTH-Konzentrationen im Blut bestimmt. Diese werden durch die Inhalationsnarkose nicht beeinflusst. Es können in dieser Studie keine Todesfälle verzeichnet werden, weshalb die Methode als sehr sicher angesehen wird. Die Dauer der Kastration unter Inhalationsanästhesie wird mit zwei Minuten angegeben, die Kosten auf etwa 0,5 SFr pro Ferkel geschätzt. Die Kosten für das Narkosegerät sind dabei nicht miteinkalkuliert.

2.5.2.4 Kastration unter Betäubung mit einem CO₂/O₂-Gemisch

Kohlendioxid (CO₂) wird zur Betäubung meist mit 30 % Sauerstoff angereichert. Die Dämpfung des ZNS und dadurch auch die Bewusstlosigkeit werden durch die starke Ansäuerung des *Liquor cerebrospinalis* erreicht. Die CO₂-Betäubung geht mit erhöhter Atemtätigkeit einher, da das Atemzentrum durch den hohen Kohlendioxidgehalt im Blut stimuliert wird. Vom Menschen ist bekannt, dass CO₂ die Atemwege reizt (ERHARDT et al., 2004). KOHLER et al. (1998) können bei Ferkeln in der Einleitungsphase einer CO₂-Betäubung starke Abwehrbewegungen beobachten. Untersuchungen von GERRITZEN et al. (2008) zufolge tritt nach 30 Sekunden Expositionsdauer Bewusstseinsverlust auf. Daraufhin können Krämpfe bei den meisten Ferkeln beobachtet werden. Die Herzfrequenz sinkt dabei stetig ab, bis eine Frequenz von nahezu Null Schlägen pro Minute erreicht wird (GERRITZEN et al., 2008).

MÜHLBAUER et al. (2009) zeigen, dass bei Kastration unter CO₂-Betäubung mit 70 % CO₂ und 30 % O₂ die Stressbelastung der Ferkel um ein Vielfaches größer ist als bei betäubungsloser Kastration. Als Messparameter werden Cortisol und Katecholamine verwendet. KOHLER et al. (1998) stellen mit einem 80 % CO₂ und 20 % O₂ Gemisch eine tiefe Bewusstlosigkeit bei der Saugferkelkastration fest, weisen aber auch darauf hin, dass diese Betäubung eine erhebliche Stressbelastung für die Ferkel darstellt. GERRITZEN et al. (2008) verwenden ein Gemisch aus 70 % CO₂ und 30 % O₂, womit eine Kastration ohne im EEG erkennbare Schmerzzeichen möglich ist. Bis die Tiere wieder Stehvermögen erlangen, dauert es etwa eine Minute. Problematisch wird die Sicherheit dieser Betäubungsmethode gesehen, da ab einer geringfügig verlängerten Expositionsdauer Todesfälle zu verzeichnen sind. Werden die Tiere dem Gasgemisch nach Bewusstseinsverlust noch weitere zwei bzw. drei Minuten exponiert, versterben in diesen Untersuchungen eins von zwei bzw. zwei von

fünf Ferkeln. Demzufolge wird die Betäubung mittels Kohlendioxid sehr kontrovers diskutiert.

2.5.2.5 Kastration unter Allgemeinanästhesie mit Injektionspräparaten

Zur Injektionsnarkose beim Schwein können Thiopental (streng i.v.) oder Ketamin (i.v. oder i.m.) verwendet werden (HEINRITZI, 2006a).

Die Mononarkose, die mit Thiopental erreicht werden kann, liefert eine ausreichende Muskelrelaxation und Analgesie. Allerdings treten auch eine deutliche Atemdepression und eine mit bis zu 30 Stunden für Saugferkel inakzeptabel lange Phase des Nachschlafs und der Desorientierung auf. Verluste aufgrund Erdrückens durch die Muttersau liegen bei 9,5 % (WALDMANN et al., 1994). Derzeit ist kein tiermedizinisches Präparat im Handel verfügbar, das Thiopental enthält (VETIDATA, 2009).

LAHRMANN et al. (2006) untersuchen den Einsatz der Neuroleptanalgesie mittels Azaperon und Ketamin bei der Saugferkelkastration. Der zusätzliche Zeitaufwand bei intramuskulärer Applikation beträgt pro Ferkel etwa 16 Sekunden. Die Kosten, die durch Medikamente und Hinzuziehen des Tierarztes entstehen, betragen etwa zwei Euro pro Tier. In der Untersuchung empfiehlt sich die Separation im Ferkelnest nach Kastration für etwa fünf bis sechs Stunden, um die Gefahr der Hypothermie und des Erdrückens zu mindern. Das Risiko von Wundadaptionstörungen und Wundschwellungen sowie die Todesfälle sind in dieser Studie bei den unter Narkose kastrierten Ferkeln um ein Vielfaches höher als bei unbehandelt kastrierten. Die Autoren empfehlen, den Eingriff erst gegen Ende der ersten Lebenswoche bei einem Gewicht von über zweieinhalb Kilogramm durchzuführen (LAHRMANN et al., 2006). MCGLONE und HELLMAN (1988) beobachteten nach einer Injektionsnarkose mit Xylazin, Ketamin und Guaifenesin bei zwei Wochen alten Ferkeln 28 % Todesfälle.

2.5.3 Alternativen zur chirurgischen Kastration

2.5.3.1 Impfung gegen Ebergeruch

Der Impfstoff gegen Ebergeruch, Improvac[®], ist seit 2009 auch in Deutschland zugelassen. Er enthält ein Gonadotropin-Releasing-Faktor(GnRF)-Analogon und induziert eine reversible Immunität gegen körpereigenes, im Hypothalamus gebildetes GnRF. Durch Neutralisation des körpereigenen GnRF nach der zweiten Impfdosis wird die Synthese von

Follikelstimulierendem Hormon (FSH) und Luteinisierendem Hormon (LH) in der Hypophyse unterdrückt. So entfällt deren stimulierende Wirkung auf die Hodenfunktion, wodurch weniger Hodensteroide wie Testosteron und Androstenon gebildet werden. Die Applikation erfolgt mit einer Sicherheitsspritze, die eine versehentliche Selbstinjektion verhindert. Diese Vorsichtsmaßnahme ist notwendig, da der Impfstoff bei versehentlicher Selbstinjektion beim Anwender ähnlich wirkt wie beim Schwein, also den Sexualhormonspiegel und die Fortpflanzungsfähigkeit vorübergehend vermindert und bei schwangeren Frauen zu Aborten führen kann. Bei behandelten Tieren kann es nach Applikation zu einer Schwellung der Injektionsstelle kommen (VETIDATA, 2009).

ZAMARATSKAIA et al. (2008) können zeigen, dass mit Improvac[®] immunisierte Eber auch über die vom Hersteller zugesicherten sechs Wochen hinaus geringer ausgeprägtes Sexualverhalten aufweisen und weniger aggressiv sind als intakte Eber.

Die Schlachtkörperqualität von immunokastrierten Tieren ist vergleichbar mit der von chirurgisch kastrierten männlichen Schweinen (JEONG et al., 2008; MICLAT-SONACO et al., 2008). Die Gehalte von Skatol und Androstenon im Fett von immunokastrierten Tieren sind signifikant niedriger als die von Ebern. Die Werte von Androstenon liegen bei den mit Improvac[®] behandelten Tieren teilweise unterhalb der Nachweisgrenze (ZAMARATSKAIA et al., 2008). Tiere, die nicht ausreichend immunisiert wurden und deshalb ebertyische Geschmacksabweichungen aufweisen, werden als Non-Responder bezeichnet. Nach Methoden, die diese Tiere am Schlachtband ausfindig machen, wird gesucht. Zum einen weisen immunokastrierte Tiere kleinere Hoden und Bulbourethraldrüsen auf als intakte Eber (ZAMARATSKAIA et al., 2008), zum anderen wird versucht, routinemäßig eine „elektronische Nase“ einzusetzen, mit der Androstenon an Schlachtkörpern direkt am Band detektiert werden kann (AMPUERO und BEE, 2006; HAUGEN, 2006).

HUBER-EICHER und SPRING (2008) untersuchen das Verbraucherverhalten in der Schweiz gegenüber Fleisch von immunokastrierten Ebern. Nach einer kurzen Erklärung des Wirkmechanismus der Immunokastration geben immer noch 56 % der befragten Personen an, solches Fleisch nicht kaufen zu wollen. Im Gegensatz dazu kommen GIFFIN et al. (2008) ebenfalls bei einer Schweizer Umfrage zu dem Ergebnis, dass die Verbraucher Fleisch von vakzinierten Tieren als sehr akzeptabel einstufen. 60 % der Befragten geben in dieser Studie an, bevorzugt Fleisch von immunokastrierten Tieren kaufen zu wollen.

FONT I FURNOLS et al. (2008) stellen fest, dass spanische Verbraucher bei der Bewertung der geruchlichen und geschmacklichen Qualität von Schweinefleisch nicht zwischen Fleisch von weiblichen Tieren, immunokastrierten oder chirurgisch kastrierten Tieren unterscheiden können.

2.5.3.2 Jungebermast

Die Jungebermast wird vor allem in Großbritannien und Irland, aber auch in südlichen Ländern wie Spanien praktiziert (FREDRIKSEN et al., 2008). Ein Vorteil der Ebermast ist, dass Eber meist eine bessere Futtermittelverwertung aufweisen als Kastraten und einen höheren Magerfleischanteil haben (XUE et al., 1997).

WALSTRA et al. (1999) beschreiben, dass die Gehalte an Skatol und Androstenon mit dem Schlachtgewicht ansteigen und umso niedriger sind, je höher der Magerfleischanteil der Tiere ist. BABOL et al. (2004) weisen einen Anstieg von Skatol bei Ebern ab einem Alter von 180 bis 190 Tagen nach. Um die Ausprägung des ebertyptischen Geruchs und Geschmacks zu vermeiden, ist es deshalb wichtig, die Tiere früh genug zu schlachten.

In einer Studie von ALDAL et al. (2005) werden Eber mit einem Lebendgewicht von unter 75 kg geschlachtet. Sie weisen dennoch, je nach Haltung und Fütterung, problematische Skatol- und Androstenongehalte auf. In der sensorischen Untersuchung treten Geschmacks- und Geruchsabweichungen auf. AMPUERO und BEE (2006) weisen deshalb darauf hin, dass Eberfleisch routinemäßig auf Geruchs- und Geschmacksbelastung getestet werden muss.

Dass die Ebermast in Großbritannien trotz gelegentlichem in Verkehr kommen von sensorisch auffälligem Fleisch erfolgreich praktiziert wird, wird dadurch erklärt, dass die Verbraucher dort auf ebertypische Geschmacks- und Geruchsabweichungen weniger sensibel reagieren oder dass besonders sensible Personen auf den Genuss von Schweinefleisch komplett verzichten (CLAUDI-MAGNUSSEN, 2006).

Weitere Möglichkeiten, die sensorische Belastung von Eberfleisch gering zu halten, fassen LUNDSTRÖM und ZAMARATSKAIA (2006) zusammen. So haben auch Umwelt- und Haltungsbedingungen, Lichteinflüsse, der individuelle Stoffwechsel und Hormonhaushalt, die Fütterung und vor allem auch die genetische Abstammung der Tiere Einfluss auf die Bildung von Androstenon und Skatol. FREDRIKSEN et al. (2006) zeigen beispielsweise, dass die Gehalte von Androstenon im Fett bei Ebern, die von der Geburt bis zum Schlachten in einer

stabilen Gruppe bleiben, niedriger sind als in Gruppen mit wechselnder Zusammensetzung. Ebenso spielt die Rasse eine entscheidende Rolle. Einer Studie von TAJET et al. (2006) zufolge haben Duroc Eber generell höhere Androstenongehalte als Tiere der Landrasse. Die Arbeitsgruppe geht davon aus, dass auf niedrige Androstenongehalte züchterisch selektiert werden kann. Sie weisen nach, dass eine Heritabilität besteht. Mit negativen Einflüssen auf die sexuelle Reifung der Eber muss aber wahrscheinlich gerechnet werden (TAJET et al., 2006).

2.5.3.3 Spermasexing

Unter Spermasexing versteht man die Sortierung von Spermien auf das Geschlechtschromosom. Durch Befruchtung mit ausschließlich X-Chromosom tragenden Spermien können nur weibliche Nachkommen gezeugt werden. Derzeit können mithilfe der Durchflusszytometrie pro Stunde etwa 15 Millionen X- bzw. Y-Spermien aufgrund ihres unterschiedlichen DNA-Gehaltes in den Geschlechtschromosomen selektiert werden. Mit der momentan weltweit verwendeten „Beltsville Sperm Sexing Technology“ liegt die Erfolgsquote bei 90-95 %. Bei Labor- oder Zootieren und vor allem beim Rind wird die Befruchtung mit derart sortierten Spermien bereits erfolgreich durchgeführt. Beim Schwein ist die Methode aber noch nicht praxisreif. Grund dafür ist die Schädigung der Spermien durch die Kryokonservierung und die hohe Zahl an motilen Spermien, die für eine erfolgreiche Befruchtung bei der Sau notwendig ist (MARTINEZ et al., 2001; RATH et al., 2003; JOHNSON et al., 2005).

JOHNSON et al. (2005) geben an, dass für eine erfolgreiche konventionelle künstliche Befruchtung zwei bis drei Billionen Spermien nötig sind. Deshalb wird an Möglichkeiten geforscht, tief intrauterin zu besamen, um so die Anzahl der nötigen Spermien reduzieren zu können (MARTINEZ et al., 2001). RATH et al. (2003) gelingt es, mit 50 Millionen gesexten Spermien tief intrauterin appliziert Ferkel zu zeugen. Um flächendeckend eingesetzt zu werden, ist diese Methode allerdings noch zu kostenintensiv (SEIDEL, 2009).

2.6 Kryoanalgesie

2.6.1 Allgemeiner Wirkungsmechanismus der Kryoanalgesie

Bei der Kryoanalgesie werden leicht flüchtige Substanzen meist in Sprayform auf die Haut aufgebracht. Durch die Verdunstungskälte im besprühten Gebiet wird die Nervenleitgeschwindigkeit gesenkt und so eine kurz andauernde Analgesie erzeugt. Ab einer Temperatur von 10 °C beginnt die Empfindungslosigkeit der Haut. Bei längerem Kühleffekt werden Entzündungsreaktionen abgeschwächt, da die Enzymaktivität durch Kälte abnimmt (MAWHORTER et al., 2004; CRIST, 2008). Wie stark der kühlende Effekt des Kryoanalgetikums ist, hängt vom Siedepunkt der kryogenen Substanz ab. Der Kühleffekt ist umso größer, je höher der Temperaturgradient zwischen Siedepunkt der Substanz und Hauttemperatur ist (WHITE et al., 1999). Wie in Tabelle 1 dargestellt, werden als Kryogene häufig Alkane oder auch halogenierte Kohlenwasserstoffe verwendet (WHITE et al., 1999).

Tabelle 1: Einige kryogene Substanzen und ihr Siedepunkt (modifiziert nach White et al., 1999)

Kryogen	Siedepunkt
Chlorodifluormethan	-40,8 °C
Dichlordifluormethan	-29,8 °C
Dichlortetrafluorethan	3,8 °C
Chlorethan	12,3 °C
Hexafluorpropan	-1,5 °C
Tetrafluorethan	-26,3 °C
Trichlormonofluormethan	23,8 °C

2.6.2 Risiko von Erfrierungen bei der Anwendung kryogener Substanzen

Erfrierungen werden entsprechend ihrer Ausprägung in vier Grade eingestuft. Grad 1, die *Congelatio erythematosa*, geht mit Blässe einher, die Hautbezirke werden gefühllos, später hyperämisch und bei Wiedererwärmung treten leichte Schmerzen auf. Frostbeulen treten bei Erfrierungen zweiten Grades (*Congelatio bullosa*) auf, wenn die Gefäßwand geschädigt wird. Bei der *Congelatio escharotica*, oder Erfrierungen dritten Grades, sind die Gefäße durch die Kälteeinwirkung so stark geschädigt, dass es zu Thrombosierungen und Frostgangränen kommt. Als Erfrierungen vierten Grades schließlich werden totale Gewebsvereisungen bezeichnet. Als Spätfolge jeder Erfrierung können Gefäßveränderungen in Form von Intimaverdickungen zurückbleiben (MEURER und WOLF, 2007).

Eine Studie von DZUBOW (1985) untersucht die histologischen Veränderungen, die durch Kältesprays an der Haut eines 60 kg schweren Schweines hervorgerufen werden können. Es wird ein Präparat mit Dichlordifluormethan und Trichlorfluormethan (Siedepunkte -29,8 und 23,8 °C), und ein Präparat mit Dichlortetrafluorethan (Siedepunkt 3,8 °C) verwendet. Die Anwendung der Präparate erfolgt über 15, 30, 60 und 120 Sekunden. DZUBOW (1985) stellt fest, dass die histologischen Veränderungen umso ausgeprägter sind, je länger das Kältespray angewandt wird und je potenter die Substanz ist. So können durch das Spray mit den beiden Komponenten weitreichendere Schäden verursacht werden als mit Dichlortetrafluorethan.

In der Kryochirurgie macht man sich den gewebserstörenden Effekt von Kälte zunutze. In der Veterinärmedizin wird sie hauptsächlich in der Onkologie zur Tumorentfernung eingesetzt. Die kryogenen Substanzen, die dabei zum Einsatz kommen, wie Stickstoff oder Lachgas, haben Siedepunkte von -195,8 °C bzw. -89,5 °C, und sind demnach sehr potent. Ab einer Hauttemperatur von 0 °C bildet sich auf der Haut ein Eisfilm, eine Gewebserstörung entsteht dadurch jedoch noch nicht. Erst wenn Gewebe auf Temperaturen von -20 °C gekühlt wird, kommt es zur intra- und extrazellulären Eisbildung, was zur Degeneration der Zellen führt. Gefäße werden geschädigt, was in vermehrter Thrombenbildung resultiert, aber auch die Gefäßpermeabilität erhöht. Es kommt schon kurz nach der kryochirurgischen Anwendung zur lokalen Ödembildung, etwa sechs bis neun Tage nach der Vereisung wird das behandelte Gewebe in Form einer lederartigen Masse abgestoßen. Bis zur endgültigen Ablösung vergehen allerdings mehrere Wochen (MARTENS, 2004).

2.6.3 Besondere Eigenschaften von Chlorethan als kryogene Substanz

Chlorethan (Summenformel C_2H_5Cl), auch unter den Namen Chlorethyl, Monochlorethan oder Ethylchlorid bekannt, wird in der Medizin meist in Sprayform verwendet. Einsatzgebiete sind die Kühlung von Sportverletzungen oder die kurzfristige lokale Anästhesie für wenig schmerzhaft Eingriffe. Die Kälte entsteht dabei durch das Verdunsten des Ethylchlorids auf der Haut und hat eine kurzfristige Empfindungslosigkeit zur Folge (KOLB und BRUNNBERG, 2000). Chlorethanspray ist daher auch als Medizinprodukt gemäß § 3 des Gesetzes über Medizinprodukte (MPG) einzustufen, da es seine Wirkung nicht metabolisch, immunologisch oder pharmakologisch erreicht, sondern rein physikalisch wirkt. Es ist also kein Arzneimittel und kann deshalb oberflächlich bei lebensmittelliefernden Tieren ohne Einhaltung einer Wartezeit angewendet werden.

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) gibt Spitzenbegrenzungen für Chlorethan am Arbeitsplatz an. Chlorethan gilt als potentiell kanzerogener Stoff, außerdem kann das Einatmen des Stoffes je nach Konzentration zu leichten subjektiven Beschwerden bis hin zu Bewusstseinsverlust und Atemstillstand führen (BAuA, 2004; BAuA, 2008). Aus der Literatur sind Fälle von Chlorethanmissbrauch bekannt. Dabei wird Chlorethan inhaliert, um rauschähnliche Zustände hervorzurufen oder die sexuelle Empfindsamkeit zu erhöhen. Aufgrund der neurotoxischen Auswirkungen des Chlorethans werden solche Patienten bisweilen mit Ataxien oder Halluzinationen in Notfallambulanzen vorstellig (NORDIN et al., 1988; SOULT und WALKER, 1993; FINCH und LOBO, 2005). In seltenen Fällen kann der Missbrauch zum Tod führen (BROUSSARD et al., 2000).

Die Gefahr von Erfrierungen ist bei bestimmungsgemäßer Verwendung von Chlorethanspray jedoch vergleichsweise gering, da der Siedepunkt von Chlorethan mit 12,3 °C im Vergleich zu anderen kryogenen Verbindungen relativ hoch liegt. Erfrierungen treten dann auf, wenn Chlorethan unsachgemäß, also aus zu geringer Entfernung und über einen längeren Zeitraum angewandt wird (NOBLE, 1979; LACOUR und LE COULTRE, 1991; WHITE et al., 1999). Der Hersteller des Chlorethansprays „Chloraethyl Dr. Henning“ (Fa. Dr. Georg Friedrich Henning, Walldorf) empfiehlt die Anwendung aus 30 cm Entfernung zum behandelnden Hautareal über einige Sekunden, jedoch längstens bis zur Bildung eines dünnen Eisfilms.

2.6.4 Einsatzgebiete der Kryoanalgesie in der Medizin

2.6.4.1 Verwendung der Kryoanalgesie in der Humanmedizin

Kältesprays werden in der Humanmedizin häufig genutzt, wenn eine schnelle, unkomplizierte Lokalanästhesie für kleinere medizinische Eingriffe erwünscht ist. So wird die Anwendung in der Onkologie von ZAPPA und NABORS (1992) empfohlen. In ihrer Studie berichten Patienten, die vor invasiven Eingriffen wie Lumbalpunktionen oder Knochenmarkaspirationen eine Vereisung der Einstichstelle mit Chlorethan erhalten, zum Großteil von weniger Schmerzen beim Eingriff (ZAPPA und NABORS, 1992).

Auch in der Dermatologie werden Kältesprays verwendet. WAIBEL und KATIAL (2005) stellen fest, dass Ergebnisse des bei Allergien angewandten Pricktests nicht durch vorherige Chlorethanapplikation verfälscht werden. Der Test wird durch die vorherige Vereisung tendenziell auch als weniger schmerzhaft empfunden.

Mehrere Studien existieren über den Einsatz von Kältesprays zur Minderung der Schmerzen bei Venenpunktionen und intramuskulären Vakzinationen. MAWHORTER et al. (2004) setzen ein Kältespray mit den Komponenten Dichlordifluormethan und Trichlordifluormethan bei der Vakzination von Erwachsenen ein. Die Probanden erhalten eine gleiche Anzahl von Impfungen in den rechten sowie in den linken Arm, allerdings wird die Impfstelle nur an einem Arm zuvor mit Kältespray oder Placebo behandelt. Der durch die Vakzination verursachte Schmerz wird von den Probanden mit einem modifizierten Fragebogen nach McGill für den besprühten und unbesprühten Arm getrennt evaluiert. In dieser Studie kann eine signifikante Schmerzreduktion direkt nach der Injektion durch das Kältespray nachgewiesen werden. Auf die Schmerzintensität fünf Minuten nach dem Eingriff hat das Kältespray keinen Einfluss (MAWHORTER et al., 2004).

SELBY und BOWLES (1995) können eine signifikante Schmerzlinderung bei der Venenpunktion durch vorheriges Auftragen von Chlorethan nachweisen. Das Spray wurde aus einer Entfernung von 20 Zentimeter über einen Zeitraum von zehn Sekunden appliziert. Der Schmerz wurde dabei von den Probanden mittel eines Visual Analogue Scale (VAS) beurteilt. FARION et al. (2008) zeigen die signifikante Linderung von Schmerzen beim Legen eines venösen Zuganges bei Kindern durch vorherige Applikation eines Kältesprays. Die Komponenten des hier verwendeten Sprays sind Pentafluorpropan und Tetrafluorethan.

Auch mit einem Fluormethanspray kann bei Kindern der Schmerz durch eine Vakzination signifikant gemindert werden. In einer Studie von COHEN REIS und HOLUBKOV (1997) wird die schmerzlindernde Wirkung des Kältesprays mit der einer Lokalanästhetikum enthaltenden Creme und Ablenkung bei der Impfung von Kindern verglichen. Die Schmerzevaluierung erfolgt durch das Kind selbst, anwesende Personen sowie durch Auswertung von Vokalisation und Verhalten des Kindes. Die Schmerzevaluierungen der Personen und auch die Auswertung der Schreie zeigen, dass vakzinationsbedingte Schmerzen durch Creme und Spray gleichermaßen gelindert werden können. HIJAZI et al. (2009) verwenden ein Kältespray mit Propan, Butan und Pentan und überprüfen die Wirksamkeit zur Schmerzreduktion bei der Venenpunktion, und auch sie können eine signifikante Schmerzlinderung feststellen. ROBINSON et al. (2007) verzeichnen eine Schmerzlinderung durch Auftragen eines Chlorethansprays vor Legen eines Venenzugangs. Eine signifikante Schmerzminderung kann in dieser Studie durch das Spray jedoch nicht erreicht werden. Die intradermale Applikation einprozentiger Lidocainlösung vor der Venenpunktion bewirkt hingegen eine signifikante Schmerzlinderung.

Unter Sedation mit Lachgas kann die Anwendung von Chlorethanspray laut CRECELIUS et al. (1999) aber auch der Auslöser von Schmerzen und Angstgefühlen sein. In einer Studie wurde Patienten unter Lachgasnarkose ein venöser Zugang gelegt. Zuvor wurde die Punktionsstelle mit Chlorethanspray oder einem Placebospray (destilliertes Wasser, Raumtemperatur) behandelt. Die Probanden wurden aufgefordert, empfundene Schmerzen und Angstgefühle vor und nach der Einleitung der Lachgassedation, nach Besprühen des Hautareals und nach Legen des Katheters mittels eines VAS zu evaluieren. Die zehn sekundige Applikation des Chlorethansprays führt dabei zu mehr Schmerzen und Angstgefühlen als die Verwendung des Placebos. Die Schmerzen und Angstzustände durch die Punktion werden in dieser Studie weder durch das Kältespray noch durch das Placebo vermindert. Die Autoren dieser Studie bewerten deshalb die Anwendung von Chlorethan vor der Venenpunktion unter Sedation mit Lachgas als nicht förderlich.

Ebenso können COSTELLO et al. (2006) und RAMSOOK et al. (2001) keinerlei schmerzlindernden Effekt bei der Venenpunktion durch vorherige Vereisung feststellen. Dies wird zum Teil darauf zurückgeführt, dass das in einer Studie verwendete Chlorethanspray nur für fünf Sekunden statt, wie in anderen Studien, über einen Zeitraum von zehn Sekunden angewendet wurde (COSTELLO et al., 2006).

In einer Studie von HARTSTEIN und BARRY (2008) wird ein Kältespray mit den Komponenten Tetrafluorethan und Pentafluorpropan mit einer Sprühdauer von zwei bis vier Sekunden eingesetzt. Es kann hierbei kein signifikanter schmerzlindernder Effekt bei der Venenpunktion festgestellt werden.

2.6.4.2 Spezielle Anwendungen in der Tiermedizin

Aufbauend auf die Ergebnisse von GASTEINER et al. (2008) führen FETTINGER (2008) und HAIMEL (2008) Studien zur Verwendung der Kryoanalgesie bei der Ferkelkastration durch.

FETTINGER (2008) befasst sich mit der Kryoanalgesie in Verbindung mit Ketoprofen und Lidocain. Dabei wird vor der Kastration Ketoprofen i.m. appliziert, die Skrotalhaut vor Inzision mit Chlorethanspray vereist und die Hoden nach Vorverlagerung mit einem Emaskulator abgesetzt. Der Emaskulator wird zunächst nur lose angesetzt, so dass auch der fixierte Samenstrang mit Chlorethanspray vereist werden kann. Nach Absetzen der Hoden wird wie bei der „Gasteiner Methode“ Lidocainspray auf Wundrand und Samenstrangstumpf

aufgesprüht. Zur Evaluation der schmerzinduzierten Stressreaktion dienen die Cortisolwerte der Tiere im Blut. Die Cortisolwerte der nach dieser Methode kastrierten Tiere unterscheiden sich nicht signifikant von denen der ohne Schmerzausschaltung kastrierten Kontrollgruppe. Bei der Kontrollgruppe, die zwar vereist und fixiert, aber nicht kastriert wird, kann ein signifikanter Anstieg des Cortisolspiegels eine halbe Stunde nach der Vereisung nachgewiesen werden.

HAIMEL (2008) kombiniert die „Gasteiner Methode“ mit zusätzlicher Vereisung des Samenstranges mittels Chlorethanspray. Das Absetzen der Hoden erfolgt mit einem Emaskulator. Auch hier wird der Serumcortisolspiegel bestimmt. Die Cortisolwerte der auf diese Weise kastrierten Tiere sind nicht signifikant niedriger als die der ohne Schmerzausschaltung kastrierten Tiere. Die Cortisolwerte der nicht kastrierten, aber vereisten und fixierten Ferkel steigen bis eine Stunde nach der Vereisung im Vergleich zum Basalwert kontinuierlich an.

PRUNIER et al. (2001) untersuchen den Einfluss eines Kältesprays beim Schwanzkupieren an Saugferkeln. Saugferkel, deren Schwanz mit einem Kauter ohne jegliche Schmerzausschaltung abgesetzt wird, zeigen währenddessen mehr Abwehrbewegungen und Lautäußerungen als unkupierte Handlingtiere. In den darauf folgenden 20 Sekunden wackeln sie mehr mit dem Schwanz als die unkupierten Kontrolltiere. Bei Vereisen des Schwanzes vor dem Kupieren zeigen die Ferkel weniger Schwanzwackeln.

RITTERSHAUS (2009) untersucht verschiedene topische Anästhesieverfahren bei der Ferkelkastration. Die Auswertungen der Vokalisationsanalyse und der Plasmacortisolspiegel weisen auf starke Schmerzhaftigkeit der Kältesprayapplikation auf Skrotalhaut und Samenstrang hin. In der Lautauswertung zeigen sich aber auch Hinweise auf eine geringere Schmerzhaftigkeit des Hautschnittes nach Vereisung im Vergleich zur unbehandelten Kastrationsgruppe. Die Kombination von Vereisung der Skrotalhaut und Besprühen der Samenstränge vor Absetzen der Hoden mit Lidocain ergibt keine signifikante Minderung des Plasmacortisolspiegels, die Vokalisationsanalyse gibt aber Hinweise auf geringere Schmerzhaftigkeit bei der Samenstrangdurchtrennung.

2.7 Cortisol

2.7.1 Physiologie des Cortisolstoffwechsels

Cortisol ist ein Steroidhormon aus 21 Kohlenstoffatomen und wird in der Nebennierenrinde gebildet. Seine Freisetzung wird vom Hypothalamus-Hypophysen-System gesteuert. Bei Belastung wird im Hypothalamus vermehrt Corticoliberin (CRH) ausgeschüttet, das wiederum im Hypophysenvorderlappen zur vermehrten Freisetzung von Adrenocorticotropen Hormon (ACTH oder Corticotropin) führt. Durch ACTH wird in der Nebennierenrinde schließlich Cortisol, Cortison und Corticosteron gebildet. Diese als Glucocorticoide bezeichneten Hormone wirken über einen negativen Feedback-Mechanismus wiederum regulierend auf den Hypothalamus ein (ECKERT et al., 2002; MÖSTL, 2005).

Die physiologische Ausschüttung von Cortisol folgt ab einem bestimmten Alter einer circadianen Rhythmik (RUIS et al., 1997; GALLAGHER et al., 2002). LANGHOFF (2008) zeigt, dass bei fünf Tage alten Saugferkeln noch keine episodische Ausschüttung und keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Cortisolkonzentration erkennbar sind. In dieser Studie liegen die Cortisolmittelwerte im Serum um neun Uhr morgens jedoch signifikant höher als mittags, nachmittags oder abends. GALLAGHER et al. (2002) weisen für weibliche Ferkel ab dem sechsten und für männliche Tiere ab dem zehnten Lebenstag eine circadiane Rhythmik nach. RUIS et al. (1997) zeigen, dass ab der 20. Lebenswoche ein stabiler circadianer Rhythmus vorherrscht und sich die basalen Cortisolkonzentrationen zwischen den Geschlechtern unterscheiden. Der physiologische Cortisolgehalt im Blut bei Saugferkeln liegt zwischen 35 und 60 ng/ml (MARX und HAECKER, 1981). Die Halbwertszeit von Cortisol geben LENNERNÄS et al. (2008) mit eineinhalb Stunden an.

Cortisol liegt im Blut hauptsächlich in der an Albumin gebundenen Form vor. Dies ist im Gegensatz zu freiem Cortisol nicht direkt wirksam, sondern stellt eine Speicherform dar. Der Abbau von Cortisol erfolgt in der Leber, die Ausscheidung teilweise mit dem Kot und zum Großteil über die Nieren (MÖSTL, 2005).

2.7.2 Wirkung der Glucocorticoide

Die Glucocorticoide Cortisol, Cortison und Corticosteron nehmen im Glucosestoffwechsel eine wichtige Rolle ein und haben nur geringe Mineralocorticoidwirkung. Bei Schweinen und Wiederkäuern wird mehr Cortisol als Corticosteron gebildet, bei Vögeln, Mäusen oder Ratten dominiert Corticosteron. Glucocorticoide bewirken einen Anstieg der Blutglucose,

maßgeblich bedingt durch die Gluconeogenese aus Aminosäuren, die durch Abbau von Proteinen entstehen. Außerdem wird die Proteinbiosynthese gehemmt. Folglich werden unter Glucocorticoid Einfluss auch weniger entzündungsfördernde Substanzen gebildet. Glucocorticoide wirken regulierend auf den Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel (MÖSTL, 2005). Im ZNS wirken Glucocorticoide euphorisierend und lösen ein Glücksgefühl aus. Letztlich dienen diese Prozesse der erhöhten Energiebereitstellung in Belastungssituationen (UNGEMACH, 2006).

2.7.3 Labordiagnostische Messung von Cortisol

Meist wird die Cortisolkonzentration aus Blut (Plasma oder Serum) bestimmt, ein Nachweis kann aber auch aus Speichel oder Urin vorgenommen werden (EKKEL et al., 1996). Im Plasma oder Serum erfolgt die Messung mittels Radioimmunoassay (RIA) oder ELISA. Um eine Bindung des Cortisol an Erythrozyten zu verhindern, müssen Blutproben möglichst schnell abzentrifugiert und gekühlt werden. Mehrfaches Auftauen und Einfrieren, Hämolyse der Proben oder Lipämie beeinflussen die Cortisolkonzentrationen nicht. Angaben über die Haltbarkeit der Plasmaproben bei Zimmertemperatur variieren (PRÉLAUD et al., 2005; NELSON et al., 2006). Nach PRÉLAUD et al. (2005) bleiben die Cortisolkonzentrationen bei 4-8 °C zwei Wochen stabil, bei einer Lagerung bei -20 °C beträgt die Haltbarkeit etwa ein Jahr.

2.7.4 Bestimmung von Cortisol als Stressparameter in der Tiermedizin

Verschiedene Autoren bestimmen Cortisol als Belastungs- oder Schmerzparameter (ROOZEN et al., 1995; MOLONY und KENT, 1997; SCHÖNREITER et al., 1999; CARROLL et al., 2006; ZÖLS, 2006; ZANKL, 2007; GASTEINER et al., 2008). Versuche von ROOZEN et al. (1995) verdeutlichen, dass neuroendokrine Stressreaktionen zeitlich versetzt auftreten. Nach Fixieren mit einer Oberkieferschlinge kommt es bei Schweinen zum Anstieg von Katecholaminen, β -Endorphinen und Cortisol. Während die Plasmakonzentrationen der Katecholamine schon eine halbe Minute nach Beginn der Fixation signifikant ansteigen und nach zwei Minuten bereits wieder abfallen, ist bei Cortisol erst dreieinhalb Minuten nach Beginn der Fixation ein signifikanter Anstieg zu verzeichnen.

SCHÖNREITER et al. (1999) können zeigen, dass die Cortisolgehalte im Speichel diejenigen im Plasma reflektieren. Bis zu vier Stunden nach der Kastration sind die Cortisolwerte

deutlich erhöht, 24 Stunden nach der Kastration ist jedoch das Ausgangsniveau wieder erreicht. Ähnliche Serumcortisolverläufe *post castrationem* beobachten unter anderem auch ZÖLS (2006) und LANGHOFF (2008). LUNDEHEIM et al. (2004) kommen mit ihren Untersuchungen jedoch zu dem Schluss, dass die Speichelcortisolmessung nur bedingt dazu geeignet ist, Stress bei Schweinen nachzuweisen. Als Grund dafür sehen sie, dass bei der Messung des Speichelcortisols nur das freie Cortisol gemessen wird, bei Messung des Plasmacortisolspiegels aber das freie und das proteingebundene Cortisol.

PRUNIER et al. (2005) untersuchen die Auswirkungen der Kastration, Zahnresektion und Schwanzamputation an unbetäubten Ferkeln. Während durch die Kastration sowohl die Cortisolkonzentration als auch die ACTH- und Lactat-Konzentrationen im Serum signifikant ansteigen, bleiben diese Parameter bei Kürzung der Zähne oder des Schwanzes unverändert.

2.8 Wundheilung

2.8.1 Physiologischer Wundheilungsverlauf

Wunden, die durch die Saugferkelkastration unter Verwendung eines Skalpells entstehen, sind Schnittwunden. Schnittwunden haben für gewöhnlich einen sehr guten Heilungsverlauf, da die Schnitttränder glatt sind und wenig Gewebe gequetscht wird. Da das verbliebene Gewebe weitestgehend intakt ist, können sich Infektionen schwer manifestieren. Im Idealfall liegen die Schnitttränder eng aneinander, wodurch sie schnell verkleben und miteinander verwachsen. Dann findet eine primäre Wundheilung statt und die Heilung ist nach 5-10 Tagen abgeschlossen. Klaffen die Wundränder oder sind traumatische oder bakterielle Noxen beteiligt, kommt es zur sekundären Wundheilung. Dabei füllt Granulationsgewebe den Defekt auf, von den Wundrändern her vollzieht sich die Epithelisierung. Bei sekundärer Wundheilung kann die Heilung mehrere Wochen dauern (LITZKE et al., 2004; RYTZ, 2004).

Die Wundheilung besteht aus mehreren Stadien, die teilweise simultan ablaufen. Theoretisch werden Entzündungs-, Abräum-, Reparations- und Reifungsphase unterschieden. In der ersten Phase der Wundheilung, der Exsudations- oder Entzündungsphase, kommt es zunächst zu Wundschmerz und -ödem. Sie dauert etwa fünf Tage an und folgt der Blutung, die durch die Verletzung gesetzt wird und zur Reinigung der Wunde beiträgt. Durch das entstehende Blutgerinnsel wird die Wunde aufgefüllt und durch den daraus entstehenden Schorf abdeckt. In der Entzündungsphase kommt es zur Exsudation plasmaähnlicher Flüssigkeit, in der Wundhöhle sammeln sich Plasmatranssudat und Fibrin an. Es kommt zur Ausschüttung von

Entzündungsmediatoren und zur Einwanderung von Leukozyten in das versehrte Gewebe. Dadurch beginnt die Abräum- oder Demarkationsphase. Sie ist durch die Aktivität von Neutrophilen und Monozyten/Makrophagen gekennzeichnet. Die Wunde wird durch Phagozytose von Mikroorganismen, Schmutz und totem Gewebe gereinigt. Makrophagen stimulieren zudem die Angiogenese und Fibroblastenproliferation, die die Reparationsphase kennzeichnen. Diese Phase der Wundheilung beginnt etwa drei bis fünf Tage nach der Kastration. Kollagen und Fibrin werden gebildet und neue Kapillaren sprießen in das Wundgebiet ein. Schließlich entsteht Granulationsgewebe, das den Defekt abdeckt, gegen Infektionen abschirmt und die Basis für eine erneute Epithelisierung darstellt. Durch die in diesem Stadium auftretende Wundkontraktion erscheinen die Wunden ab dem fünften bis neunten Tag kleiner. Die letzte Phase der Wundheilung, die Reifungsphase, kann Wochen dauern. Dabei erhöht sich die Wundfestigkeit durch zusätzliche Einlagerung kollagener Fasern und Änderung des Kollagenfasertyps (LITZKE et al., 2004).

2.8.2 Störungen der Wundheilung

Maßgeblich verlängert wird die Wundheilung durch vermehrten Eintrag von Bakterien, Verschmutzung der Wunde oder Gewebetraumen. Bei Gewebetraumen entsteht Lactat, das den pH-Wert in der Wunde senkt. Dadurch produzieren die neutrophilen Granulozyten mehr proteolytische Enzyme, und der Gewebeabbau in der Wunde nimmt zu. Zelldetritus stellt dann einen geeigneten Nährboden für eine bakterielle Besiedelung und Infektion dar (RYTZ, 2004). Durch Traumen und fehlende Ruhigstellung der Wunde kann es ebenfalls zu Wundheilungsstörungen kommen. Sie verursachen eine verminderte Blutversorgung, wodurch für die Heilung notwendige Metaboliten und Sauerstoff nicht mehr in ausreichendem Maß zu den Zellen gelangen können (LITZKE et al., 2004).

2.8.3 Wundheilung nach chirurgischer Saugferkelkastration

LACKNER (2003) vergleicht den Wundheilungsverlauf bei vier und 28 Tage alten Ferkeln nach Kastration und kann zeigen, dass die Wundheilung bei den vier Tage alten Tieren schneller und komplikationsloser verläuft. Studien von LACKNER (2003) und LANGHOFF (2008) zufolge ist die Wundheilung bei drei von vier betäubungslos kastrierten Tieren nach zwei Wochen abgeschlossen.

Durch eine Allgemeinanästhesie während der Saugferkelkastration wird der Wundheilungsverlauf nicht beeinträchtigt (WALDMANN et al., 1994). ZÖLS (2006) weist einen verzögerten Wundheilungsverlauf bei Ferkeln nach, denen vor der Kastration Metamizol verabreicht wurde. Bei Einsatz der nicht-steroidalen Antiphlogistika Meloxicam und Flunixin verläuft die Wundheilung teilweise langsamer als bei unbehandelt kastrierten Tieren (LANGHOFF, 2008).

Über den Wundheilungsverlauf nach Applikation von Lokalanästhetika existieren verschiedene Erkenntnisse. HOLLMANN et al. (2000) weisen auf die antiinflammatorische Wirkung von Lokalanästhetika hin, die maßgeblich durch ihren hemmenden Einfluss auf die polymorphkernigen Granulozyten bedingt ist. Desweiteren sind nach dem Einsatz eines Lokalanästhetikums bei der Kastration verzögerte Wundschlüsse, Samenstrangprotrusionen und Funikulitiden beschrieben (RITTERSHAUS, 2009). Auch bei ZANKL (2007) ist der Wundheilungsverlauf durch Einsatz von Procain und Lidocain signifikant verschlechtert. In Studien von WALDMANN et al. (1994), ZÖLS (2006) und GASTEINER et al. (2008) wird der Wundheilungsverlauf von der Anwendung eines Lokalanästhetikums jedoch nicht signifikant beeinflusst.

3. Tiere, Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden von Juli 2008 bis Februar 2009 durchgeführt.

3.1 Ziel der Untersuchungen

Ziel der Untersuchung ist festzustellen, ob durch den Einsatz von Kältespray und/oder Lokalanästhetikum eine Reduktion der schmerzbedingten neuroendokrinen Stressreaktion bei Saugferkeln erreicht werden kann. Dies wird anhand der Veränderungen des Cortisolspiegels im Serum der behandelten Tiere beurteilt. Die Anwendung der verwendeten Präparate ist an die „Gasteiner Methode“ angelehnt. Des Weiteren soll der Einfluss der Vereisung und der verschiedenen Applikationsformen des Lokalanästhetikums auf Wundheilung und Allgemeinbefinden der Tiere ermittelt werden.

3.2 Genehmigung des Versuchsvorhabens

Gemäß §8 des Tierschutzgesetzes wurde eine Tierversuchsanzeige bei der Regierung von Oberbayern eingereicht. Das Versuchsvorhaben wurde zum 26. Mai 2008 genehmigt und wird unter dem Aktenzeichen 55.2-1-54-2531.2-17-08 geführt. Ein am 15. Juli 2008 gestellter Ergänzungsantrag wurde zum 30. Juli 2008 bewilligt.

3.3 Versuchstiere und Betrieb

Die Versuchstiere werden im Lehr- und Versuchsgut der Technischen Universität München Weihenstephan gehalten.

3.3.1 Versuchsbetrieb

Im Betrieb befinden sich 130 Sauen, die im Dreiwochenrhythmus abferkeln. Die Ferkel werden in Abferkelbuchten mit Kastenstand für die Muttersau gehalten und nach vier Wochen abgesetzt. Alle 48 Abferkelbuchten sind mit Spaltenböden ausgelegt, die teils aus Plastik und teils aus Guss gefertigt sind. Der Spaltenboden ist im Liege- und Fressbereich der Sau von einer Gummimatte abgedeckt. Jede Abferkelbucht ist mit einem Ferkelnest ausgestattet. Dieses besteht aus einer beheizbaren Bodenplatte aus Beton, auf die Sägespäne aufgebracht werden, einer beweglichen Abdeckplatte aus Metall, die seitlich und von oben das Ferkelnest

abschirmt sowie einer Infrarot-Wärmelampe, die durch ein Loch in der Abdeckplatte über dem Ferkelnest hängt (Abbildung 1).



Abbildung 1: Abferkelbucht im Versuchsbetrieb

3.3.2 Versuchstiere, Einschlusskriterien und zootecnische Maßnahmen

Für diesen Versuch werden drei bis fünf Tage alte Masthybriden verwendet. Die Auswahl der Versuchstiere erfolgt am ersten Lebenstag. Es werden nur männliche Ferkel ausgewählt mit ungestörtem Allgemeinbefinden und einem Geburtsgewicht von mindestens 1000 g. Ferkel aus Würfen, in denen Myoclonia congenita auftritt, werden ausgeschlossen, ebenso Würfe, von denen weniger als zwei Tiere in den Versuch einbezogen werden können. Ausschlusskriterien bei Einzeltieren sind Symptome von congenitaler myofibrillärer Hypoplasie, Kryptorchismus, Durchfall sowie Skrotal- und Inguinalhernien.

Alle zootecnischen Maßnahmen und die Auswahl der Versuchstiere werden einheitlich und nur bis zum ersten Lebenstag durchgeführt. Der Tag der Geburt ist als Tag 0 definiert. Der Betriebsleiter zieht nach beendeter Geburt die Ohrmarken ein und schleift die Zähne. Das Kürzen der Schwänze mit einem Seitenschneider sowie die orale Eisenversorgung (BioWeyxin[®], Veyx-Pharma GmbH, Schwarzenborn) werden beim Einschluss der Versuchstiere vorgenommen.

Die Einteilung in die Versuchsgruppen findet nach dem Einschluss zufallsbedingt statt. Beim Einschluss werden zur Aufnahme der Ohrmarkennummern und der Allgemeinuntersuchung

alle Ferkel eines Wurfes zunächst in einen Ferkelwagen verbracht. Weibliche Tiere und männliche Ferkel, die augenscheinlich leichter als 1000 g sind oder Anzeichen einer Allgemeinerkrankung aufweisen, werden in ihre Bucht zurückgesetzt. Von den verbliebenen Ferkeln werden nacheinander die Ohrmarken notiert bevor sie zurückgesetzt werden. Ihnen werden fortlaufende Nummern zugeteilt. In der Klinik für Schweine erfolgt die Zuteilung zu den Versuchsgruppen 1-8 in fortlaufender Reihenfolge.

3.4 Versuchsaufbau

3.4.1 Auswahl der Medikamente

In Anlehnung an die „Gasteiner Methode“ wird auch in diesem Versuch ein Lokalanästhetikum mit Sperrkörperzusatz benutzt. In Deutschland ist Procain für alle lebensmittelliefernden Tierarten zugelassen (EU Verordnung 2377/90, Anhang II), entsprechende Präparate für Schweine sind auf dem Markt (VETIDATA, 2009). Laut Arzneimittelgesetz §56 a darf deshalb nicht auf Lidocain zurückgegriffen werden. Deshalb wird das Präparat Isocain[®] (Fa. Selectavet Dr. Otto Fischer GmbH, Weyarn-Holzolling) verwendet. Der Hersteller empfiehlt eine Dosis von maximal 2,5 ml Isocain[®] pro 10 kg Körpergewicht. Da nur kräftige Ferkel für den Versuch ausgewählt werden, kann in diesem Versuch von einem Gewicht von 2 kg am dritten bis fünften Lebenstag ausgegangen werden, so dass die Tiere eine einheitliche Dosis von 0,5 ml Isocain[®] erhalten.

Als Kältespray ist das Medizinprodukt Chloraethyl Dr. Henning[®] (Fa. Chemische Fabrik Walldorf GmbH, Walldorf) in Gebrauch. Der wirksame Bestandteil ist, wie in dem von GASTEINER et al. (2008) verwendeten Produkt, Chlorethan. Es wird dem von GASTEINER et al. (2008) verwendeten, in Italien produzierten Präparat Freddo-Spray[®] (Fa. Texo, Turin, I) vorgezogen, da es in Deutschland leichter zu beziehen ist.

3.4.2 Versuchsgruppen

In den Versuch werden 221 männliche Ferkel im Alter von drei bis fünf Tagen eingeschlossen. Es werden acht Versuchsgruppen gebildet. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Anzahl der pro Gruppe eingeschlossenen Tiere und die Vorgehensweise in den einzelnen Gruppen.

Tabelle 2: Gruppennummer, Anzahl der Tiere pro Gruppe und Vorgehensweise in den einzelnen Versuchsgruppen

Gruppe	n	Eingriff
1	29	Handling
2	29	Vereisung
3	28	Kastration
4	28	Vereisung+Kastration
5	28	Kastration+Lokalanästhesie (intraoperativ eingeträufelt)
6	29	Vereisung+Kastration+ Lokalanästhesie (intraoperativ eingeträufelt)
7	29	Präoperative Lokalanästhesie intratestikulär +Kastration
8	21	Vereisung+Kastration mit Klemme+Lokalanästhesie (auf fixierten Samenstrang geträufelt)

Die Versuchsgruppen werden so gewählt, dass sowohl die verschiedenen Applikationsformen des Lokalanästhetikums verglichen werden können als auch der Einfluss der Vereisung auf das Schmerz- und Wundheilungsgeschehen.

Die Gruppen 1 (Handling) und 2 (Vereisung) dienen als Handlingsgruppen. Die Tiere werden in den Kastrationsbock eingespannt und die Skrotalregion desinfiziert, eine Kastration wird nicht durchgeführt. Bei Tieren der Gruppe 2 erfolgt eine Vereisung, bei Tieren der Gruppe 1 nicht. Die bei der Vereisung erreichte Hauttemperatur wird mit einem Oberflächentemperaturmessgerät gemessen (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3).



Abbildung 2: Vereisung eines Ferkels und Messung der Oberflächentemperatur



Abbildung 3: Männliches Ferkel nach Vereisung der Skrotalregion

Die Positivkontrolle ist die Gruppe 3 (Kastration). Diese Tiere werden wie in Kapitel 3.4.5 beschrieben kastriert. Die Tiere der Gruppe 4 (Vereisung+Kastration) werden zusätzlich vor der Kastration in der Skrotalregion vereist.

Bei Tieren der Gruppen 5 und 6 wird die Möglichkeit der intraoperativen Lokalanästhesie untersucht. Dabei wird das Lokalanästhetikum direkt nach der Kastration mittels einer Knopfkanüle in die Wundhöhle eingebracht (siehe Abbildung 4). Bei Gruppe 6 (Vereisung+Kastration+LA) erfolgt vor der Schnittsetzung eine Vereisung, bei Gruppe 5 (Kastration+LA) nicht.



Abbildung 4: Einträufeln des Lokalanästhetikums in den Wundspalt

Tiere der Gruppe 7 (LA i.t.+Kastration) erhalten das Lokalanästhetikum vor der Operation intratestikulär injiziert. Sie werden nach einer Anflutungszeit von mindestens 10 Minuten wie Tiere der Gruppe 3 kastriert.

Gruppe 8 (Vereisung+Kastration mit Klemme+LA) ist am nächsten an die „Gasteiner Methode“ angelehnt. Die Skrotalregion wird vereist und direkt danach werden zwei Schnitte gesetzt, so dass beide Hoden vorverlagert werden können. Auf den freigelegten Samenstrang wird dann eine Klemme gesetzt, der Hoden wird mit dem Skalpell abgetrennt und auf den fixierten Stumpf des Samenstranges Lokalanästhetikum aufgeträufelt (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: Aufträufeln des Lokalanästhetikums auf den mit einer Klemme fixierten Samenstrang

3.4.3 Versuchsablauf

Einen Überblick über den zeitlichen Versuchsablauf gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: Zeitlicher Versuchsablauf

Vor Versuchsbeginn	Kurzes Hochheben, dabei adspektorische Untersuchung
t= -30 min	Blutentnahme zur Basalwertbestimmung
t= 0 min	Kastration/Handling
t= 30 min	Blutentnahme 30 Minuten nach dem Eingriff
t= 1 h	Blutentnahme 1 Stunde nach dem Eingriff
t= 4 h	Blutentnahme 4 Stunden nach dem Eingriff, Wiegen der Ferkel
t= 24 h/ 1 d	Blutentnahme 24 Stunden nach dem Eingriff, Kontrolle der Wundheilung/des Allgemeinbefindens, subkutane Eisensubstitution
t= 4 d	Kontrolle der Wundheilung/des Allgemeinbefindens
t= 7/8 d	Kontrolle der Wundheilung/des Allgemeinbefindens
t= 14/15 d	Kontrolle der Wundheilung/des Allgemeinbefindens
t= 21/22 d	Kontrolle der Wundheilung/des Allgemeinbefindens

Die für den Versuch ausgewählten Ferkel werden adspektorisch vor Versuchsbeginn noch einmal auf Verletzungen oder gestörtes Allgemeinbefinden untersucht. Ist die Untersuchung ohne besonderen Befund, wird den Ferkeln mit einem wasserfesten Stift die beim Einschluss zugeteilte, fortlaufende Nummer auf die Flanke geschrieben. In der Reihenfolge dieser Nummern werden die Tiere dann gefangen und die erste Blutentnahme findet statt. Die Blutentnahmetechnik wird in Kapitel 3.4.4 beschrieben.

Eine halbe Stunde nach der ersten Blutentnahme werden die Ferkel der Reihe nach und ihrer Versuchsgruppe entsprechend den jeweiligen Eingriffen unterzogen. 30 Minuten nach der Kastration sowie eine Stunde, vier Stunden und 24 Stunden nach dem Eingriff wird erneut Blut gewonnen. Alle Blutproben werden direkt nach der Entnahme in Eiswasser gekühlt und noch am selben Tag, wie in Kapitel 3.4.7 beschrieben, weiterverarbeitet. Nach der vierten Blutentnahme werden die Ferkel gewogen. Zu diesem Zweck wird immer dieselbe digitale Waage verwendet. Dies dient dazu, die Randomisierung der Ferkel zu überprüfen. Um eine ausreichende Eisenversorgung der Versuchstiere zu gewährleisten, wird ihnen nach der letzten Blutentnahme 2 ml des Eisenpräparates Myofer 100[®] (Fa. Intervet Shering Plough, Unterschleißheim) subkutan in die Kniefalte injiziert.

Sollten Tiere während des Versuchs deutliche Anzeichen einer Allgemeinerkrankung zeigen oder sich deutlich sichtbar verletzen, werden sie vom weiteren Versuch ausgeschlossen.

Die Tiere der Gruppen Handling(1) und Vereisung(2) werden noch in der ersten Lebenswoche kastriert. Eine Kontrolle der Wundheilung erfolgt bei diesen Tieren im Rahmen des Versuchs nicht. Bei Tieren der anderen Gruppen findet die Wundheilungskontrolle am Tag eins nach der Blutentnahme zum 24-Stunden-Wert statt sowie an den Tagen vier, sieben, 14 und 21 nach Kastration. In Kapitel 3.4.8 wird dies genauer geschildert.

3.4.4 Blutprobenentnahme

Zur Blutprobenentnahme werden die Tiere nacheinander aus der Bucht gefangen und von einer Hilfsperson in Rückenlage fixiert (Abbildung 6).



Abbildung 6: Blutentnahme aus der *Vena cava cranialis*

Die Blutentnahme erfolgt aus der *Vena cava cranialis* mit dem Blutentnahmesystem Primavette[®] V Serum 7,5 ml (Fa. KABE Labortechnik GmbH, Nümbrecht-Elsenroth) und unter Verwendung von sterilen Sterican[®] Einmalkanülen Größe 2 (0,8 x 40 mm, Fa. B. Braun AG, Melsungen). Pro Blutentnahmezeitpunkt werden etwa 2-3 ml Blut gewonnen. Die Entnahme wird während des ganzen Versuches von derselben Person durchgeführt.

3.4.5 Kastration und Applikation der Medikamente

Alle Ferkel werden in einem Kastriergerät für zwei bis sieben Tage alte männliche Ferkel (Fa. Schippers, Nr. 020 9759, Kerken) fixiert. Ein alkoholisches Hautdesinfektionsmittel mit Povidon-Jod (Braunoderm[®], Fa. B. Braun AG, Melsungen) wird mittels eines Pumpfläschchens auf die Skrotalregion aufgesprüht und nach einigen Sekunden Einwirkzeit mit Einwegtüchern abgewischt.

Bei Tieren der Gruppen 2, 4, 6 und 8 erfolgt danach die Vereisung der Skrotalhaut. Dabei werden die Hoden kaudal fixiert und aus etwa zehn Zentimeter Entfernung besprüht. Bei etwa dem ersten Drittel der Versuchstiere der Gruppen 2, 4, 6 wird, wie in der „Gasteiner Methode“ beschrieben, das Kältespray für vier bis fünf Sekunden angewandt. Da mit dem Infrarotthermometer (Pyrometer PCE-880, Fa. PCE Group, Meschede) durch diese Art der Vereisung aber nicht wie bei der „Gasteiner Methode“ -10 bis -12 °C, sondern meist Werte über 0 °C gemessen werden, erfolgt die Vereisung der restlichen Tiere der entsprechenden Gruppen bis zum Erreichen einer Oberflächentemperatur von -10 bis -12 °C. Die Zeit bis zum Erreichen von -10 bis -12 °C wird notiert. Sollte eine Temperatur von mindestens -10 °C nicht erreicht werden, wird das Besprühen nach Bildung eines harten, weißen Eisfilmes auf der Skrotalhaut zum Wohle des Tieres abgebrochen.

Zur Kastration wird ein Skalpellhalter mit wechselbarer Einmalklinge verwendet (BAYHA[®] Skalpellgriff und Klingen, Klingengröße 19, Fa. C. Bruno Bayha GmbH, Tuttlingen). Um das Risiko einer Keimverschleppung so gering wie möglich zu halten, wird nach jeder Kastration die Klinge erneuert. Der Eingriff wird bei allen Tieren vom gleichen Operateur durchgeführt. Dieser trägt Einmalhandschuhe (Vasco[®] powdered, Fa. B. Braun AG, Melsungen) die vor der Kastration mit Desinfektionslösung besprüht und nach einigen Tieren gewechselt werden. Die Hoden werden wie zur Vereisung kaudal fixiert. Es werden zwei etwa 1 cm lange Hautschnitte parallel zur *Raphe scroti* angebracht, der *Processus vaginalis* wird dabei eröffnet. Beide Hoden werden zunächst vorverlagert und dann nacheinander mit dem Skalpell abgesetzt.

Bei Tieren der Gruppen 5 und 6 werden nun je Seite 0,25 ml Isocain[®] in die Wundhöhle eingeträufelt. Die Applikation erfolgt mittels einer 1 ml Einmalspritze (Henry Schein[®] Tuberkulin Einmalspritzen, Fa. Henry Schein Inc., Melville, USA) mit aufgesetzter Knopfkanüle (gebogene Kanüle mit Knopf, rostfreier Edelstahl mit Luer-Lock-Ansatz). Um die Gefahr der Keimverschleppung zu vermindern, wird die Knopfkanüle nach jedem Einsatz in Desinfektionslösung (Braunoderm[®], Fa. B. Braun AG, Melsungen) aufbewahrt.

Die intratestikuläre Applikation des Isocain® bei Tieren der Gruppe 7 erfolgt mindestens zehn Minuten vor der Kastration, um eine ausreichende Anflutungszeit zu gewährleisten. Dazu werden die Tiere von einer Hilfsperson fixiert und je Hoden 0,25 ml Lokalanästhetikum mittels einer 1 ml Einmalspritze (Henry Schein® Tuberkulin Einmalspritzen, Fa. Henry Schein Inc., Melville, USA) injiziert. Es werden 0,4 x 20 mm Einmalkanülen (Neolus®, BSN medical GmbH und Co. KG, Hamburg) verwendet. Um eine intravasale Injektion und die damit verbundenen Nebenwirkungen zu vermeiden, geschieht die Injektion nur nach vorheriger Aspiration.

Bei Tieren der Gruppe 8 erfolgt nach der Vereisung ebenfalls ein Vorverlagern der Hoden. Der Samenstrang einer Seite wird dann mit einer Arterienklemme (nach Péan, gerade, 14,5 cm) erfasst. Der Hoden wird abgesetzt und mittels einer 1 ml Einmalspritze (Henry Schein® Tuberkulin Einmalspritzen, Fa. Henry Schein Inc., Melville, USA) mit aufgesetzter Knopfkanüle (gebogene Kanüle mit Knopf, rostfreier Edelstahl mit Luer-Lock-Ansatz) werden 0,25 ml Isocain® auf Samenstrangstumpf, Wundrand und Wundhöhle verteilt. Mit dem Hoden der anderen Seite wird auf gleiche Weise verfahren.

3.4.6 Wiegen der Ferkel

Nach der Blutprobe, die vier Stunden nach dem Eingriff gewonnen wird, werden die Ferkel gewogen. Es wird immer dieselbe digitale, tarrierbare Waage (Wiegeplateau Bosche bis 50 kg, Fa. Schippers, Kerken) verwendet.

3.4.7 Weiterverarbeitung der Proben

Nach Entnahme werden die Blutproben sofort in eine Styropor-Kühlbox mit Eiswasser gebracht. In der Klinik für Schweine der LMU München werden die Proben in der Zentrifuge (Rotanta 460R, Fa. Hettich GmbH und Co. KG, Tuttlingen) bei 4 °C mit 3000 G mindestens zehn Minuten lang zentrifugiert. Das Serum wird in Reaktionsgefäße (Safe-Lock Reaktionsgefäße 1,5 ml, Fa. Eppendorf AG, Hamburg) und Serumröhrchen (Röhrchen 1,2 Milliliter PP, palettiert, Fa. Brand GmbH und Co. KG, Wertheim) abpipettiert und noch am Tag der Blutentnahme bei -20 °C eingefroren.

Die Cortisolmessung wird mit dem Gerät Elecsys® 2010 (Fa. Roche Diagnostics GmbH, Mannheim) mit dem Elecsys Cortisol Reagenz (Fa. Roche Diagnostics GmbH, Mannheim)

durchgeführt. Das Gerät wird vor Inbetriebnahme kalibriert (Elecsys Cortisol CalSet, Fa. Roche Diagnostics GmbH, Mannheim) und die Ergebnisse durch das tägliche Messen von Kontrollseren (Elecsys PreciControl Universal, Fa. Roche Diagnostics GmbH, Mannheim) überprüft.

3.4.8 Kontrolle der Wundheilung

Am Tag 1 und 4 nach der Kastration, sowie ein, zwei und drei Wochen nach der Kastration wird die Wundheilung überprüft. Die Untersuchungsmethode ist an die von ZANKL (2007) angelehnt. Zur Wundheilungskontrolle werden die Ferkel auf dem Arm gehalten, die Kastrationswunde wird adspektorisch sowie palpatorisch untersucht und das Allgemeinbefinden anhand eines Punktesystems beurteilt.

Bei der Untersuchung werden die linke und die rechte Kastrationswunde getrennt voneinander bewertet. Aus den für die linke und rechte Seite vergebenen Punkten wird dann der Mittelwert gebildet. Die Summe aller vergebenen Mittelwerte mit den Punkten fürs Allgemeinbefinden gibt den Wundheilungsverlauf wieder. Die Untersuchung wird immer von der gleichen Person durchgeführt. In Tabelle 4 werden die Beurteilungskriterien dargestellt sowie die dafür möglichen Punkte. Bei Tieren der Gruppe Handling(1) und Vereisung(2) wird nur das Allgemeinbefinden bewertet.

Tabelle 4: Beurteilungsschema der Wundheilung

	Punkte Seite	linke	Punkte Seite	rechte
Aussehen der Kastrationswunde				
Wunde geschlossen, Schorf abgefallen, Wundumgebung und Schnittflächen rosarot	1		1	
Wunde geschlossen mit Schorf und/oder Wundflächen gerötet	2		2	
Wundränder teilweise adaptiert mit Schorfspuren und hyperämisch	3		3	
Keine Adaption, Wunde klafft und/oder Verfärbungen und Beläge	4		4	
<i>Mittelwert „Aussehen“</i>				
Wundsekret (bei leichtem Druck auf Wundgebiet)				
Ohne	1		1	
Serös	2		2	
Blutig-serös	3		3	
Eitrig	4		4	
<i>Mittelwert „Wundsekret“</i>				
Konsistenz im Wundgebiet				
Weich, ohne Umfangsvermehrung	1		1	
Ödematisiert, ohne Umfangsvermehrung	2		2	
Ödematisiert oder derb, bis zu haselnussgroße Umfangsvermehrung	3		3	
Ödematisiert oder derb, Umfangsvermehrung größer als Haselnuss	4		4	
<i>Mittelwert „Konsistenz Wundgebiet“</i>				
Konsistenz und Umfang der Samenstränge				
Kaum palpierbar	1		1	
Bis bleistiftstark, weich bis derb elastisch	2		2	
Größer als bleistiftstark, weich bis derb elastisch	3		3	
Größer als bleistiftstark, verhärtet oder fluktuierend	4		4	
<i>Mittelwert „Konsistenz Samenstränge“</i>				
<i>Summe aller Mittelwerte</i>				
Allgemeinbefinden				
Ungestört	1			
Geringgradig gestört	2			
Mittelgradig gestört	3			
Hochgradig gestört	4			
<i>Summe Mittelwerte und „Allgemeinbefinden“</i>				

3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgt an der Klinik für Wiederkäuer der LMU München mittels des Statistikprogramms SPSS 17.0 für Windows XP. Bei einer Plausibilitätsprüfung wird auf Extremwerte untersucht. Tiere, deren basale Serumcortisolspiegel als Extremwerte auffallen (mehr als dreimal Interquartil-Abstand größer als der Wert des dritten Quartils) werden von der Auswertung ausgeschlossen.

Neben Mittelwerten und Standardabweichungen werden auch Minimal- und Maximalwerte der Cortisolresultate ermittelt.

Zunächst wird mittels T-Test geprüft, ob sich Tiere, bei denen die Vereisung Temperaturen von ≥ 0 °C erreicht hat, signifikant in ihrer Cortisolkonzentration von Tieren unterscheiden, bei denen Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes auftraten.

T-Tests für die Vergleiche zwischen den unkastrierten Gruppen 1 und 2, die sich nur in der Vereisung unterscheiden, zwischen der Gruppe Handling(1) und Kastration(3), sowie Vergleiche der mit Vereisung und/oder Lokalanästhetikum kastrierten Gruppen mit der Gruppe Kastration(3) wurden berechnet. Desweiteren werden die Gruppen Vereisung+Kastration(4) und Vereisung+Kastration+LA(6), Kastration+LA(5) und Vereisung+Kastration+LA(6) sowie die Gruppen Kastration+LA(5) und LA i.t.+Kastration(7) einander gegenübergestellt. Um einen etwaigen Einfluss der Klemme auf die Cortisolkonzentrationen im Serum feststellen zu können, erfolgt ein Vergleich der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6) mit Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8).

Aus den Daten der Wundkontrolle werden Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima sowie die Perzentile 25, 50 und 75 berechnet. Mittels des Mann-Whitney-U-Tests wird auf Unterschiede in der Wundheilung zwischen zwei Gruppen untersucht. Es werden alle mit Vereisung und/oder Lokalanästhesie kastrierten Gruppen jeweils mit der Gruppe Kastration(3) verglichen.

Eine einfaktorielle Varianzanalyse (One-way ANOVA) sowie ein Post-hoc Mehrfachvergleich (Tukey-Test) werden für Mittelwert-Vergleiche der Variablen zwischen den Versuchsgruppen aus unabhängigen Stichproben angewendet. Für die Vergleiche der Mittelwerte aus abhängigen Stichproben wird der gepaarte T-Test durchgeführt. Im Vergleich werden die Ergebnisse als signifikant angesehen, wenn sich bei der statistischen Analyse eine Irrtumswahrscheinlichkeit von kleiner oder gleich 5 % ($p \leq 0,05$) ergibt. Liegt sie zwischen 5 und 10 % ($0,05 < p \leq 0,1$), wird von Tendenzen gesprochen.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Cortisolmessungen

Von den 221 in den Versuch aufgenommenen Tieren konnten die Cortisolproben von 215 Tieren statistisch ausgewertet werden. Jeweils ein Tier der Gruppen 1, 2 und 7 wiesen Extremwerte auf. Die Serumproben eines Tieres aus Gruppe 7 konnten nicht ausgewertet werden, da die gewonnene Serummenge unzureichend war. Je ein Tier der Gruppen 6 und 7 wiesen während des Versuchs Anzeichen einer Allgemeinerkrankung auf (Tabelle 5).

Tabelle 5: Anzahl der statistisch ausgewerteten Cortisolproben pro Gruppe

Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8
n	28	28	28	28	28	28	26	21

4.1.1 Mittlere Serumcortisolkonzentrationen bei Vereisung ≥ 0 °C und < 0 °C

Bei einem Teil der Tiere der Gruppe Vereisung(2) wurde die Skrotalregion aus 10 cm Entfernung für vier bis fünf Sekunden vereist (Temp. ≥ 0 °C). Beim anderen Teil (Temp. < 0 °C) wurde die Skrotalregion mit Kältespray behandelt, bis eine Oberflächentemperatur von -10 bis -12 °C erreicht war oder die Vereisung aus Tierschutzgründen abgebrochen werden musste. Tabelle 6 zeigt den Vergleich der mittleren Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) der Tiere der beiden Teilgruppen.

Tabelle 6: Tierzahlen, mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l), Standardabweichungen, sowie Minima und Maxima der verschieden stark vereisten Teilgruppen der Gruppe 2

Gruppe	Zeit	Temp.	n	Mittelwert	SD	Min.	Max.
Vereisung(2)	Basal	≥ 0 °C	10	66,2	46,2	14,0	162,2
		< 0 °C	18	53,1	40,7	9,8	166,8
	1/2 h	≥ 0 °C	10	104,5	54,7	33,6	240,6
		< 0 °C	18	97,8	30,4	36,6	156,2
	1 h	≥ 0 °C	10	79,2	48,0	23,3	192,5
		< 0 °C	18	67,4	23,0	21,2	114,7
	4 h	≥ 0 °C	10	43,9	33,5	8,7	106,1
		< 0 °C	18	39,9	32,8	7,5	112,3
	24 h	≥ 0 °C	10	62,2	33,2	12,5	118,5
		< 0 °C	18	38,6	25,4	6,2	103,6

Abbildung 7 stellt die Ergebnisse der Gruppe Vereisung(2) graphisch dar.

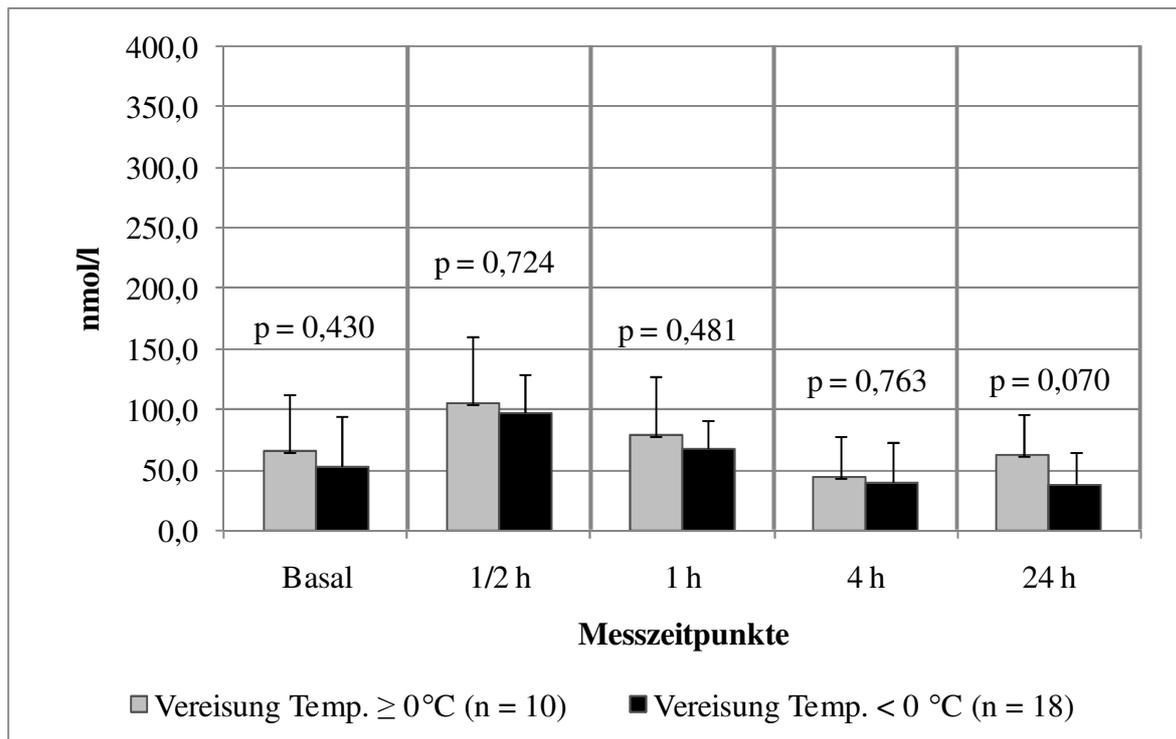


Abbildung 7: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere aus Gruppe Vereisung(2), deren Skrotalhaut verschieden stark vereist wurde sowie deren Signifikanzen

Nach einer halben Stunde sind die Cortisolwerte der Tiere, bei denen Temperaturen $\geq 0^{\circ}\text{C}$ erreicht wurden, im Vergleich zum Basalwert um 38,3 nmol/l angestiegen. Bei Temperaturen $< 0^{\circ}\text{C}$ beträgt die Differenz zum Basalwert 44,7 nmol/l. Nach einer Stunde liegen die Cortisolwerte 13,0 nmol/l (Temp. $\geq 0^{\circ}\text{C}$) und 14,3 nmol/l (Temp. $< 0^{\circ}\text{C}$) über dem jeweiligen Basalwert. Vier Stunden nach der Vereisung sind die Cortisolwerte der Tiere unabhängig von den erreichten Temperaturen auf Werte unter basalem Niveau gesunken. Einen Tag nach der Kastration haben Tiere, bei denen Temperaturen $\geq 0^{\circ}\text{C}$ erreicht wurden, wieder basales Niveau erreicht. Die Ferkel, bei denen die Skrotalhaut auf Temperaturen $< 0^{\circ}\text{C}$ vereist wurde, liegen 14,5 nmol/l unter ihrem basalen Niveau.

Es können keine signifikanten Unterschiede in der mittleren Serumcortisolkonzentration bei Vereisung der Skrotalhaut auf Temperaturen $\geq 0^{\circ}\text{C}$ oder $< 0^{\circ}\text{C}$ festgestellt werden ($p > 0,05$). 24 Stunden nach der Vereisung sind die mittleren Cortisolwerte der auf Temperaturen $\geq 0^{\circ}\text{C}$ vereisten Tiere tendenziell höher als die der auf Temperaturen $< 0^{\circ}\text{C}$ vereisten Tiere.

4.1.2 Mittlere Serumcortisolkonzentrationen bei den acht Versuchsgruppen

4.1.2.1 Verläufe der mittleren Serumcortisolkonzentrationen

Für alle Tiere einer Gruppe wurde für jeden Messzeitpunkt die mittlere Serumcortisolkonzentration berechnet (dargestellt in Abbildung 8). Ist der Anstieg/Abfall der Serumcortisolkonzentration innerhalb der Gruppe zum vorherigen Messzeitpunkt signifikant verändert, ist dies mit „*“ gekennzeichnet. Die p-Werte dieser Vergleiche sind Tabelle 13 im Anhang zu entnehmen.

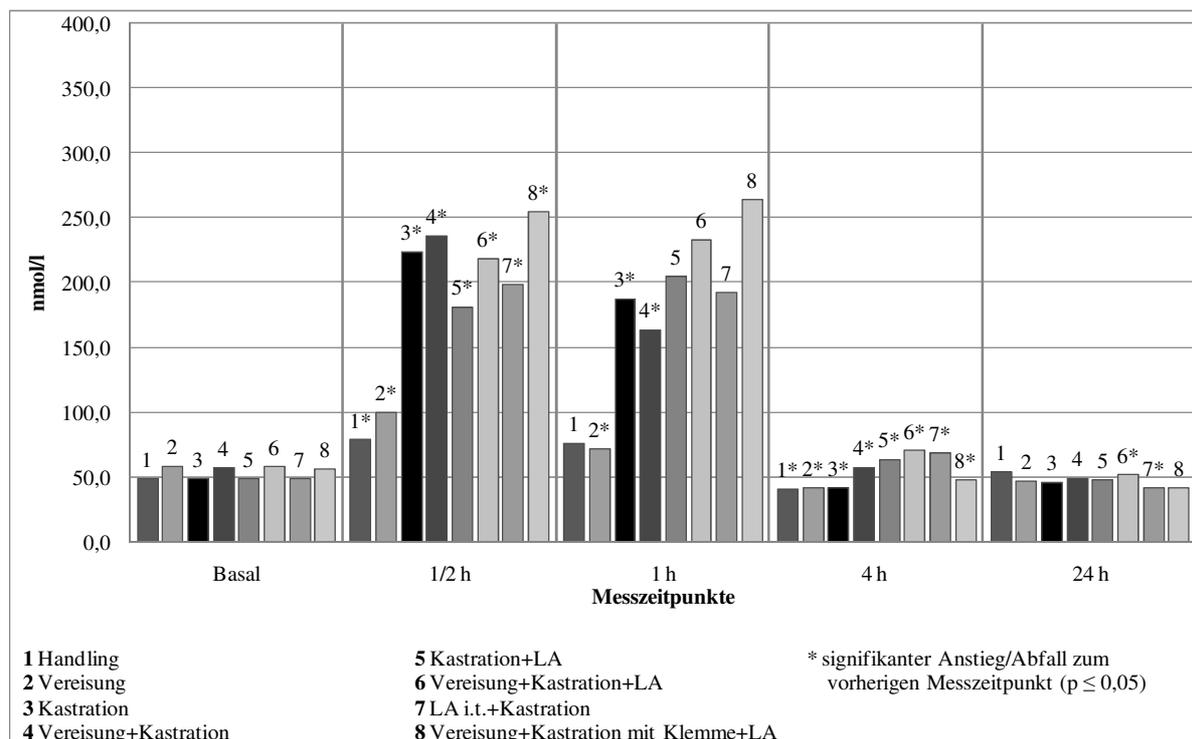


Abbildung 8: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) der acht Versuchsgruppen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten

Tabelle 7 zeigt Mittelwert, Standardabweichung, Minima und Maxima für die fünf Messzeitpunkte bei den acht Versuchsgruppen.

Tabelle 7: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l), Standardabweichungen, Minima und Maxima der acht Gruppen zu den verschiedenen Messzeitpunkten

Zeit	Gruppe	Mittelwert	SD	Min.	Max.
Basal	Handling(1)	48,5	25,8	13,2	122,8
	Vereisung(2)	58,2	42,4	9,8	166,8
	Kastration(3)	48,7	31,2	8,8	149,0
	Vereisung+Kastration(4)	56,9	27,1	16,2	125,8
	Kastration+LA(5)	48,6	30,3	5,3	137,9
	Vereisung+Kastration+LA(6)	57,9	32,0	20,5	136,8
	LA i.t.+Kastration(7)	48,6	30,4	7,4	122,1
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	56,0	33,8	16,5	144,8
1/2 h	Handling(1)	78,5	35,3	32,6	167,3
	Vereisung(2)	100,2	39,9	33,6	240,6
	Kastration(3)	223,9	93,1	69,3	469,4
	Vereisung+Kastration(4)	236,2	82,3	111,3	445,5
	Kastration+LA(5)	181,1	70,5	48,6	376,5
	Vereisung+Kastration+LA(6)	218,2	83,8	68,9	415,4
	LA i.t.+Kastration(7)	198,5	102,6	55,0	418,7
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	254,5	91,4	92,0	437,5
1 h	Handling(1)	76,2	61,9	9,1	314,8
	Vereisung(2)	71,6	33,7	21,2	192,5
	Kastration(3)	187,2	117,8	49,3	561,0
	Vereisung+Kastration(4)	163,6	65,4	58,6	285,9
	Kastration+LA(5)	204,2	109,4	56,4	509,8
	Vereisung+Kastration+LA(6)	233,3	107,9	64,2	548,8
	LA i.t.+Kastration(7)	192,3	94,5	60,0	375,1
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	263,6	112,1	77,0	478,1
4 h	Handling(1)	40,5	30,5	3,4	114,6
	Vereisung(2)	41,4	32,5	7,5	112,3
	Kastration(3)	41,5	37,2	3,9	159,5
	Vereisung+Kastration(4)	57,6	40,1	13,4	141,6
	Kastration+LA(5)	63,6	39,5	11,6	165,4
	Vereisung+Kastration+LA(6)	70,2	45,0	12,0	170,0
	LA i.t.+Kastration(7)	68,5	57,7	7,6	222,1
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	47,5	26,8	11,8	121,1
24 h	Handling(1)	53,7	35,9	10,6	136,6
	Vereisung(2)	47,0	30,1	6,2	118,5
	Kastration(3)	46,1	44,6	1,9	159,5
	Vereisung+Kastration(4)	48,9	32,2	6,0	146,5
	Kastration+LA(5)	47,6	36,4	5,9	190,3
	Vereisung+Kastration+LA(6)	51,7	28,1	18,2	134,3
	LA i.t.+Kastration(7)	41,6	37,1	7,9	164,8
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	41,3	31,6	1,7	121,4

Die basalen Serumcortisolkonzentrationen der Tiere in den acht Versuchsgruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$). Sie liegen zwischen 48,5 nmol/l bei der Gruppe Handling(1) und 58,2 nmol/l bei der Gruppe Vereisung(2).

Eine halbe Stunde nach dem Eingriff steigen die mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere aller acht Gruppen im Vergleich zum Basalwert signifikant an ($p < 0,001$, Tabelle 13 im Anhang). Die mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppe Handling(1) betragen 78,5 nmol/l und sind signifikant niedriger als die Werte der Tiere der Gruppe Kastration(3) (223,9 nmol/l, $p < 0,001$, Tabelle 14 im Anhang). Die mittleren Cortisolwerte der kastrierten Tiere (Gruppen 3-8) liegen zwischen 181,1 nmol/l (Kastration+LA(5)) und 254,5 nmol/l (Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)).

Eine Stunde nach Kastration liegen die Serumcortisolkonzentrationen der unkastrierten Tiere (Gruppe 1 bzw. 2) auf gleichem Niveau mit 76,2 bzw. 71,6 nmol/l. Die mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppe Handling(1) sind signifikant niedriger als die der Tiere der Gruppe Kastration(3) ($p < 0,001$, Tabelle 14 im Anhang). Die Cortisolwerte der kastrierten Tiere (Gruppen 3-8) betragen zwischen 163,6 nmol/l (Vereisung+Kastration(4)) und 263,6 nmol/l (Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)). Im Vergleich zum Halb-Stunden-Wert sind die Cortisolwerte der Tiere der Gruppen Vereisung(2), Kastration(3) und Vereisung+Kastration(4) signifikant gesunken ($p \leq 0,05$, Tabelle 13 im Anhang).

Vier Stunden nach dem Eingriff fallen die mittleren Cortisolwerte der Tiere aller acht Gruppen signifikant zum Ein-Stunden-Wert ab ($p \leq 0,05$, Tabelle 13 im Anhang). Die Werte der Tiere der Gruppen Handling(1) und Vereisung(2) liegen jetzt bei 40,5 nmol/l und 41,4 nmol/l. Ein signifikanter Unterschied zwischen den mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppen Handling(1) und Kastration(3) besteht nicht ($p > 0,05$, Tabelle 14 im Anhang). Die kastrierten Tiere weisen Cortisolwerte zwischen 41,5 nmol/l (Gruppe Kastration(3)) und 70,2 nmol/l (Vereisung+Kastration+LA(6)) auf.

Ein Tag nach dem Eingriff unterscheiden sich die mittleren Cortisolkonzentrationen aller Tiere nur noch geringfügig voneinander und liegen zwischen 41,3 nmol/l (Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)) und 53,7 nmol/l (Handling(1)). Im Vergleich zum Vier-Stunden-Wert ist bei den Tieren der Gruppen Vereisung+Kastration+LA(6) und LA i.t.+Kastration(7) ein signifikanter Abfall der mittleren Serumkonzentration zu verzeichnen ($p \leq 0,05$, Tabelle 13 im Anhang). Die Werte der Tiere der Gruppe Kastration+LA(5) sinken tendenziell ($p = 0,058$, Tabelle 13 im Anhang).

4.1.2.2 Vergleiche der mittleren Cortisolkonzentrationen der kastrierten Gruppen

In Abbildung 9 sind die mittleren Cortisolkonzentrationen aller kastrierten Tiere (Gruppen 3-8) dargestellt. Signifikante Unterschiede zur mittleren Serumcortisolkonzentration der Tiere der Gruppe Kastration(3) sind mit „+“ gekennzeichnet.

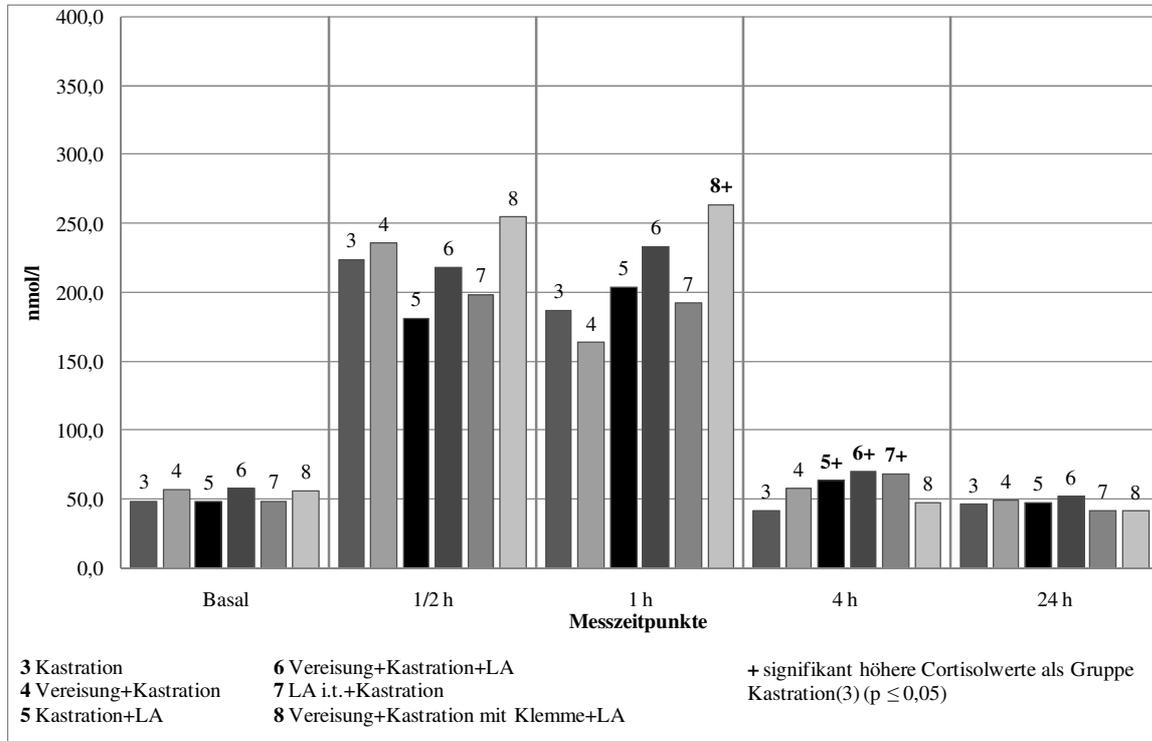


Abbildung 9: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) der Tiere der Gruppen 3-8

Tabelle 8 gibt einen Überblick über die p-Werte der Vergleiche der mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppe Kastration(3) mit den übrigen kastrierten Gruppen (Gruppen 4-8).

Tabelle 8: p-Werte der Vergleiche der mittleren Cortisolkonzentration von Gruppe Kastration(3) mit den übrigen Kastrationsgruppen (4-8)

	Zeit	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7	Gruppe 8
Kastration (Gruppe 3)	Basal	p > 0,05				
	1/2 h	0,603	0,058	0,811	0,347	0,255
	1 h	0,358	0,577	0,133	0,861	0,026
	4 h	0,124	0,036	0,012	0,045	0,514
	24 h	p > 0,05				

Alle kastrierten Tiere unterscheiden sich in ihren basalen Cortisolwerten nicht signifikant ($p > 0,05$).

Auch eine halbe Stunde nach der Kastration unterscheiden sich die Cortisolwerte der Tiere der Gruppen 4-8 nicht signifikant von denen der Tiere der Gruppe Kastration(3) ($p > 0,05$, Tabelle 8). Die mittlere Cortisolkonzentration der Tiere der Gruppe Kastration+LA(5) (181,1 nmol/l) ist tendenziell niedriger als die der Tiere der Gruppe Kastration(3) (223,9 nmol/l) ($p = 0,058$, Tabelle 8). Die Tiere der übrigen Kastrationsgruppen erreichen Werte zwischen 198,5 nmol/l (LA.i.t.+Kastration(7)) und 254,5 nmol/l (Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)).

Eine Stunde nach Kastration weisen die Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) (263,6 nmol/l) signifikant höhere mittlere Cortisolkonzentrationen auf als Tiere der Gruppe Kastration(3) (187,2 nmol/l) ($p \leq 0,05$, Tabelle 8). Die Cortisolwerte der Tiere der übrigen kastrierten Gruppen liegen zwischen 163,6 nmol/l (Vereisung+Kastration(4)) und 233,3 nmol/l (Vereisung+Kastration+LA(6)) und unterscheiden sich nicht signifikant von denen der Gruppe Kastration(3) ($p > 0,05$, Tabelle 8).

Vier Stunden nach der Kastration liegen die Cortisolwerte der Tiere der Gruppen Kastration+LA(5), Vereisung+Kastration+LA(6) und LA i.t.+Kastration(7) signifikant über den Cortisolwerten der Tiere der Gruppe Kastration(3) ($p \leq 0,05$, Tabelle 8).

Einen Tag nach dem Eingriff unterscheiden sich die mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppen 4-8 nicht mehr signifikant von denen der Tiere der Gruppe Kastration(3) ($p > 0,05$, Tabelle 8).

4.1.2.3 Auswirkungen der Kryobehandlung auf die Serumcortisolkonzentration

Die Auswirkungen der Kryoanalgesie auf die Serumcortisolkonzentrationen der Ferkel soll im Vergleich der Gruppen Handling(1) und Vereisung(2), Kastration(3) und Vereisung+Kastration(4) sowie Kastration+LA(5) und Vereisung+Kastration+LA(6) genauer betrachtet werden.

Abbildung 10 zeigt die mittleren Serumcortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppen Handling(1) und Vereisung(2) im Vergleich.

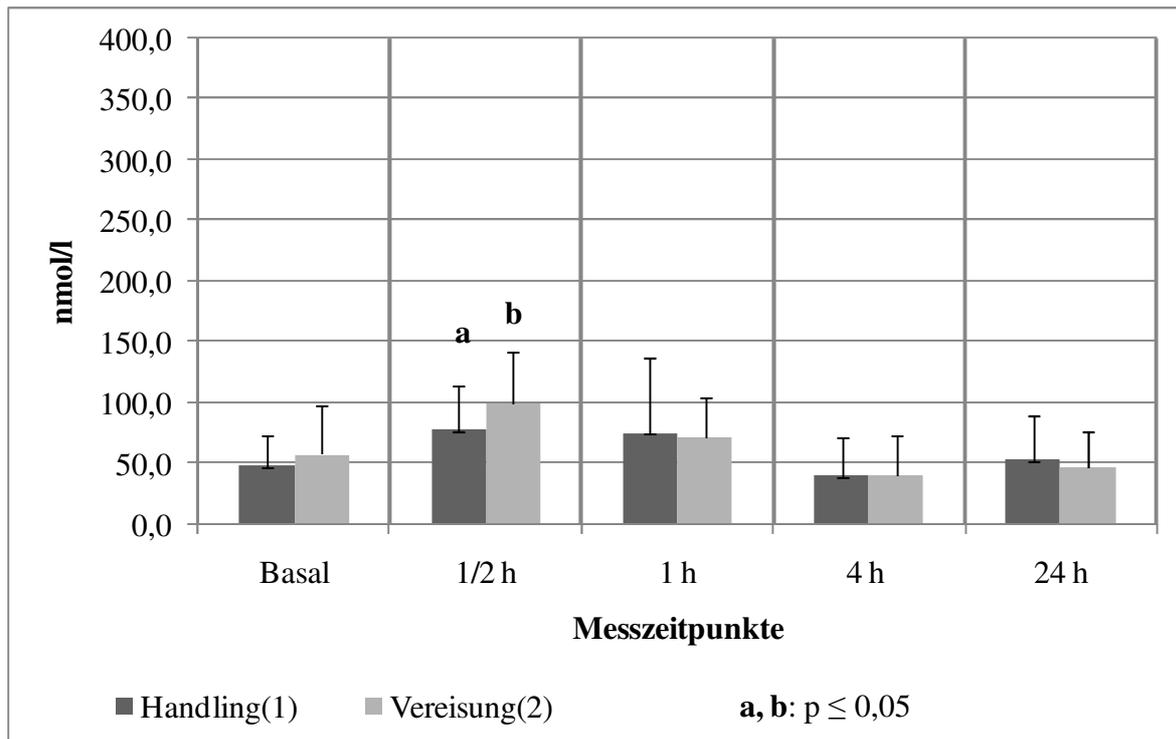


Abbildung 10: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Handling(1) und Vereisung(2) mit Signifikanzen

Die Tiere der Gruppe Handling(1) weisen einen Basalwert von 48,5 nmol/l auf. Die Werte der Tiere der Gruppe Vereisung(2) liegen bei 58,2 nmol/l. Ein signifikanter Unterschied besteht nicht ($p > 0,05$).

Eine halbe Stunde nach dem Eingriff steigen die Cortisolwerte der Tiere beider Gruppen signifikant an ($p < 0,001$, Tabelle 13 im Anhang). Die Cortisolwerte der Tiere, deren Skrotalregion vereist wurde (Gruppe 2), steigen um 42,0 nmol/l, die der nur fixierten und desinfizierten Tiere (Gruppe 1) um 30,0 nmol/l. Die mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppe Vereisung(2) liegen nun bei 100,2 nmol/l und sind signifikant höher als die der Gruppe Handling(1), die 78,5 nmol/l betragen ($p \leq 0,05$, Tabelle 14 im Anhang).

Eine Stunde nach dem Eingriff unterscheiden sich die mittleren Cortisolwerte der Tiere der Gruppen Handling(1) und Vereisung(2) nicht mehr signifikant voneinander und betragen 76,2 nmol/l (Handling(1)) und 71,6 nmol/l (Vereisung(2)). Zum Vier-Stunden-Wert sinken die Cortisolwerte der Tiere beider Gruppen signifikant ($p \leq 0,05$, Tabelle 13 im Anhang).

Vier Stunden und 24 Stunden nach dem Handling/der Vereisung unterscheiden sich die Cortisolkonzentrationen der Tiere beider Gruppen nicht mehr signifikant ($p > 0,05$, Tabelle 14 im Anhang).

Auch die basalen Cortisolwerte der Tiere der Gruppen Kastration(3) und Vereisung+Kastration(4) unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$). Die mittleren Cortisolkonzentration der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration(4) betragen 56,9 nmol/l, die der Gruppe Kastration(3) bei 48,7 nmol/l. Abbildung 11 stellt die mittleren Cortisolwerte der Tiere der Gruppen Kastration(3) und Vereisung+Kastration(4) graphisch dar.

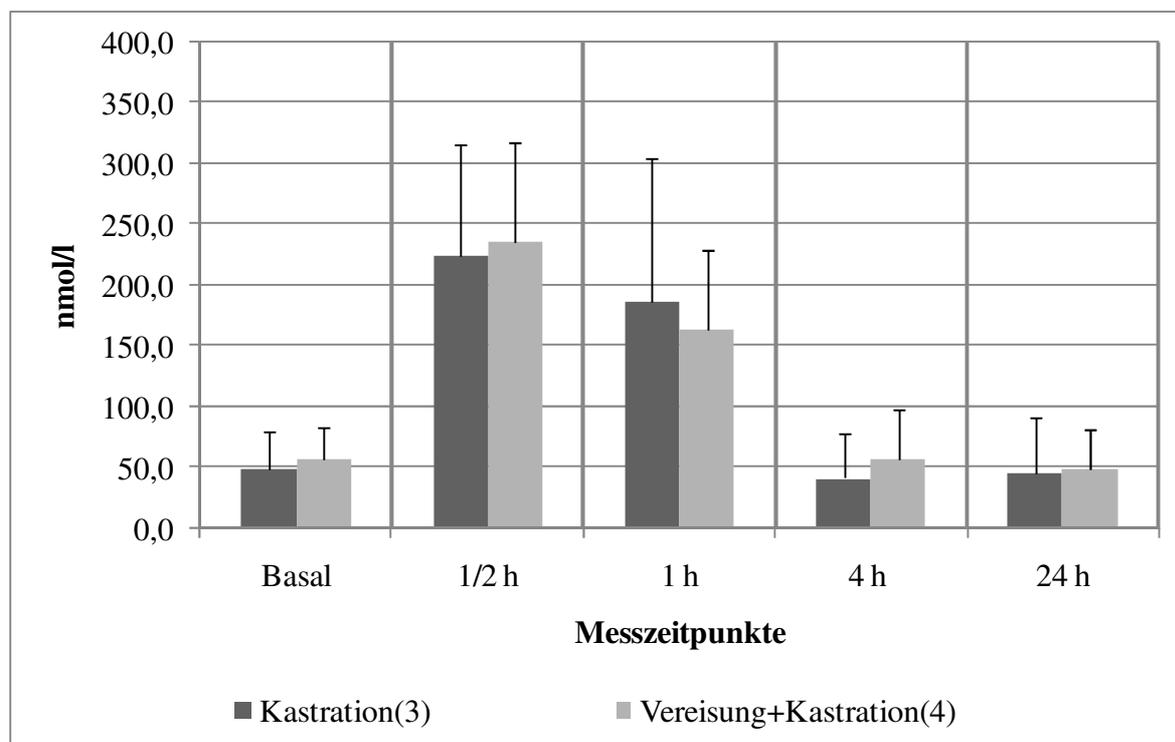


Abbildung 11: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Kastration(3) und Vereisung+Kastration(4)

Eine halbe Stunde nach der Kastration steigen die Cortisolwerte der Tiere beider Gruppen signifikant an ($p < 0,001$, Tabelle 13 im Anhang). Die der Tiere der Gruppe Kastration(3) steigen um 175,2 nmol/l auf 223,9 nmol/l, die der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration(4) um 179,3 nmol/l auf 236,2 nmol/l. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Tieren der beiden Gruppen ($p > 0,05$, Tabelle 8).

Eine Stunde nach Kastration fallen die Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Kastration(3) signifikant auf 187,2 nmol/l ab, die der vereisten und kastrierten Tiere (Gruppe 4) ebenfalls signifikant auf 163,6 nmol/l ($p \leq 0,05$, Tabelle 13 im Anhang). Ein signifikanter Unterschied zwischen den mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der beiden Gruppen besteht nicht ($p > 0,05$, Tabelle 8).

Zum Vier-Stunden-Wert sinken die Cortisolwerte der Tiere beider Gruppen erneut signifikant ab ($p < 0,001$, Tabelle 13 im Anhang). Vier Stunden und 24 Stunden nach der Kastration haben die Cortisolwerte der Tiere beider Gruppen wieder basales Niveau erreicht und unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$, Tabelle 8).

In Abbildung 12 werden die mittleren Serumcortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppen Kastration+LA(5) und Vereisung+Kastration+LA(6) vergleichend gezeigt.

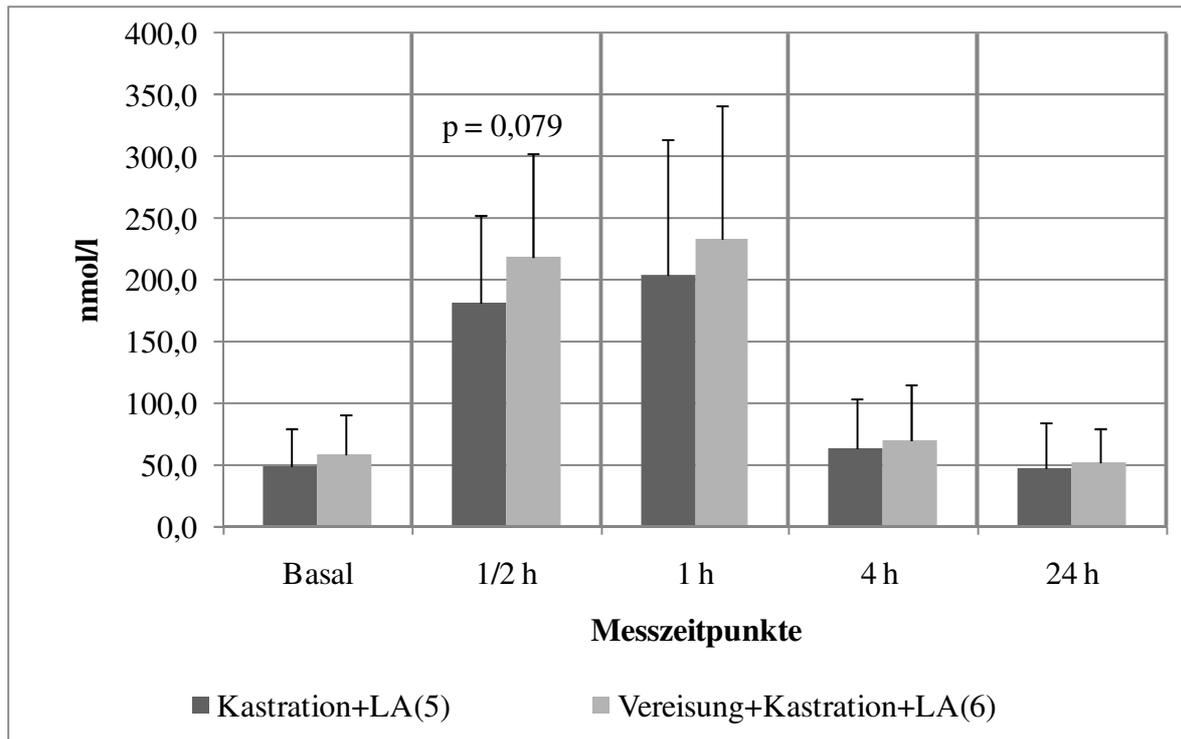


Abbildung 12: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Kastration+LA(5) und Vereisung+Kastration+LA(6) sowie deren Signifikanzen

Die basalen mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppen Kastration+LA(5) und Vereisung+Kastration+LA(6) sind auf ähnlichem Niveau mit 48,6 nmol/l (Gruppe 5) und 57,9 nmol/l (Gruppe 6) und unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$).

Nach einem signifikanten Anstieg auf 181,1 nmol/l (Gruppe Kastration+LA(5)) und 218,2 nmol/l (Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6)) eine halbe Stunde nach dem Eingriff sind die mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6) tendenziell höher als die der Gruppe Kastration+LA(5). Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant ($p = 0,079$, Tabelle 14 im Anhang).

Eine Stunde nach der Kastration betragen die Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Kastration+LA(5) 204,2 nmol/l, die der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6)

233,3 nmol/l. Die mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere beider Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$, Tabelle 14 im Anhang).

Vier und 24 Stunden nach dem Eingriff befinden sich die Cortisolwerte der Tiere beider Gruppen wieder auf basalem Niveau und unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$, Tabelle 14 im Anhang).

4.1.2.4 Auswirkung der Lokalanästhesie auf die Serumcortisolkonzentration

Abbildung 13 zeigt die mittleren Serumcortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppen Kastration+LA(5), Vereisung+Kastration+LA(6) und LA i.t.+Kastration(7) im Vergleich zur Gruppe Kastration(3).

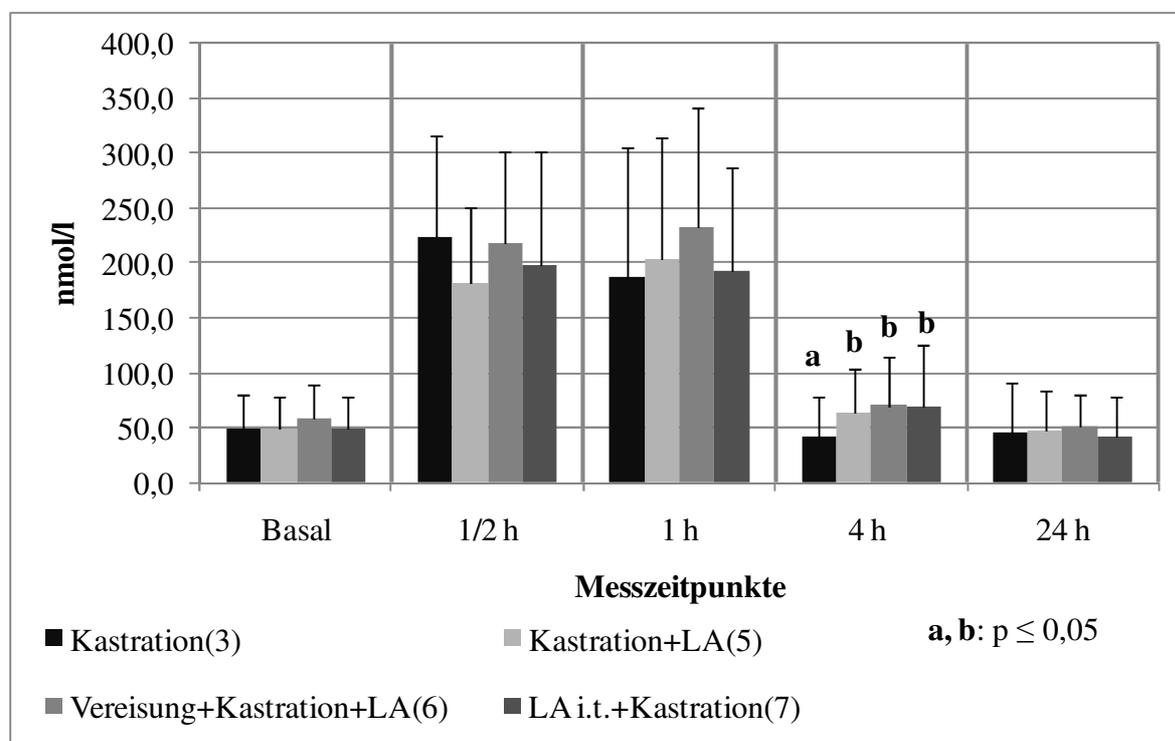


Abbildung 13: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der mit Lokalanästhetikum aber ohne Klemme kastrierten Tiere der Gruppen 5, 6 und 7 im Vergleich mit den Tieren der Gruppe Kastration(3) sowie deren Signifikanzen

Die Tiere der Gruppen Kastration+LA(5), Vereisung+Kastration+LA(6) und LA i.t.+Kastration(7) unterscheiden sich in ihren Basalwerten nicht signifikant untereinander oder zur Gruppe Kastration(3) ($p > 0,05$).

Eine halbe Stunde nach der Kastration steigen die Cortisolwerte aller Tiere signifikant an ($p < 0,001$, Tabelle 13 im Anhang). Die mittleren Serumcortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppe Kastration+LA(5) sind eine halbe Stunde nach Kastration tendenziell niedriger als die der normal kastrierten Tiere (Gruppe 3) ($p = 0,058$, Tabelle 8). Ein signifikanter Unterschied zwischen den mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere dieser drei Gruppen (Kastration+LA(5): 181,1 nmol/l, Vereisung+Kastration+LA(6): 218,2 nmol/l, LA i.t.+Kastration(7): 198,5 nmol/l) und denen der Gruppe Kastration(3) (223,9 nmol/l) besteht nicht ($p > 0,05$, Tabelle 8).

Eine Stunde nach Kastration ist der Cortisolwert der Tiere der Gruppe Kastration(3) signifikant abgesunken auf 187,2 nmol/l ($p \leq 0,05$, Tabelle 13 im Anhang). Die Werte der Gruppen Kastration+LA(5), Vereisung+Kastration+LA(6) und LA i.t.+Kastration(7) sind höher und betragen 204,2 nmol/l (Gruppe 5), 233,3 nmol/l (Gruppe 6) und 192,3 nmol/l (Gruppe 7). Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den drei mit Lokalanästhetikum behandelten Gruppen und der Gruppe Kastration(3) ($p > 0,05$, Tabelle 8).

Vier Stunden nach dem Eingriff betragen die mittleren Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Kastration(3) 40,5 nmol/l. Bei den Tieren der Gruppen Kastration+LA(5), Vereisung+Kastration+LA(6) und LA i.t.+Kastration(7) betragen sie zwischen 63,6 nmol/l und 70,2 nmol/l und sind damit vier Stunden *post castrationem* signifikant höher als bei Tieren der Gruppe Kastration(3) ($p \leq 0,05$, Tabelle 8). Die Cortisolwerte der Tiere der Gruppen 5, 6, und 7 liegen vier Stunden *post castrationem* über ihrem basalen Niveau. Bei Tieren der Gruppe Kastration+LA(5) ist die Abweichung vom Basalwert signifikant ($p \leq 0,05$, Tabelle 15 im Anhang). 24 Stunden nach der Kastration unterscheidet sich die mittlere Cortisolkonzentration der Tiere der Gruppen 5, 6 und 7 nicht signifikant von denen der Tiere der Gruppe Kastration(3).

Der Vergleich der Gruppen Kastration+LA(5) mit LA i.t.+Kastration(7) dient zur Einschätzung der Auswirkungen der Applikationsart des Lokalanästhetikums auf die Serumcortisolkonzentration. In Abbildung 14 sind vergleichend die mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere dargestellt, denen das Lokalanästhetikum intraoperativ eingeträufelt (Gruppe 5) bzw. präoperativ intratestikulär verabreicht wurde (Gruppe 7).

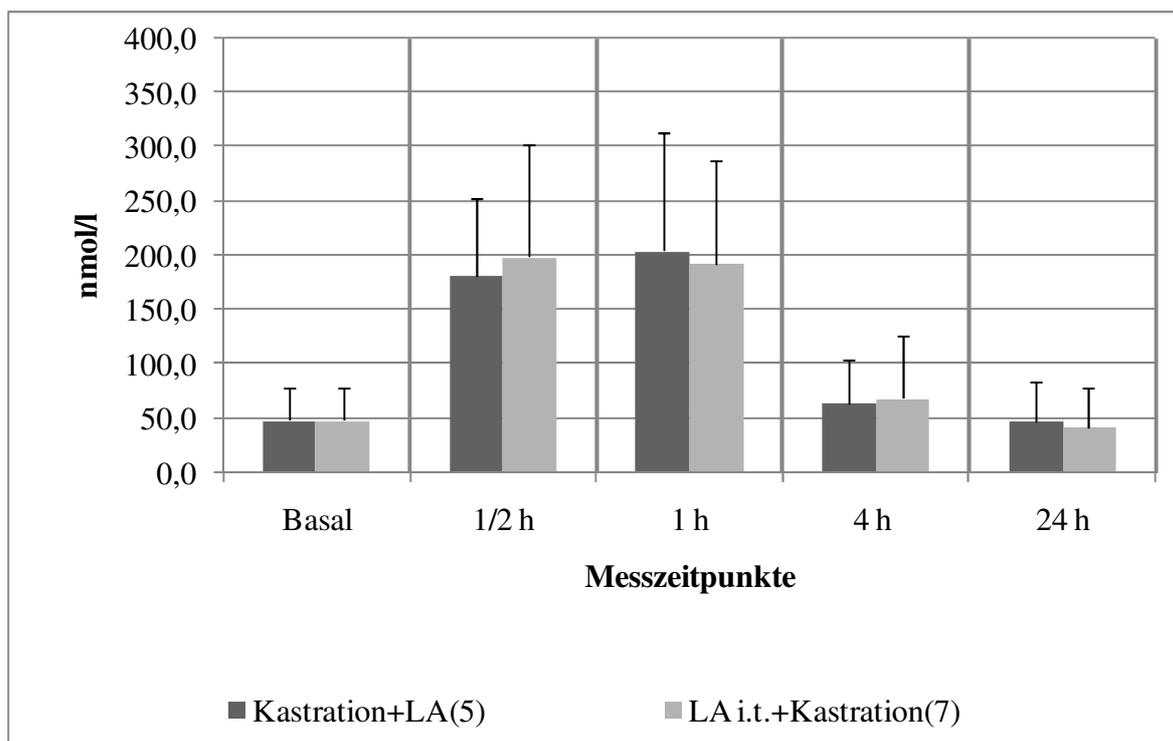


Abbildung 14: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Kastration+LA(5) und LA i.t.+Kastration(7)

Die Basalwerte der Tiere beider Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$).

Eine halbe Stunde nach der Kastration steigen Cortisolwerte der Tiere, bei denen das Lokalanästhetikum eingeträufelt wurde (Gruppe 5) auf 181,1 nmol/l, die bei denen es intratestikulär appliziert wurde (Gruppe 7) auf 198,5 nmol/l. Ein signifikanter Unterschied zwischen den mittleren Cortisolkonzentrationen der Tiere der beiden Gruppen besteht nicht ($p > 0,05$, Tabelle 14 im Anhang).

Eine Stunde nach der Kastration liegen die mittleren Cortisolkonzentrationen mit 204,2 nmol/l (Kastration+LA(5)) und 192,3 nmol/l (LA i.t.+Kastration(7)) etwa auf gleichem Niveau und unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0,05$, Tabelle 14 im Anhang). Auch vier und 24 Stunden nach der Kastration besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den absoluten Cortisolwerten der Tiere der beiden Gruppen ($p > 0,05$, Tabelle 14 im Anhang).

4.1.2.5 Auswirkungen von Kryoanalgesie, Lokalanästhetikum und intraoperativer Fixation des Samenstranges auf die Serumcortisolkonzentration

Die Auswirkungen, die die intraoperative Fixation des Samenstranges mit einer Klemme auf die Serumcortisolkonzentration hat, sollen anhand der Vergleiche der Gruppen Kastration(3) und Vereisung+Kastration+LA(6) mit der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) eruiert werden (Abbildung 15).

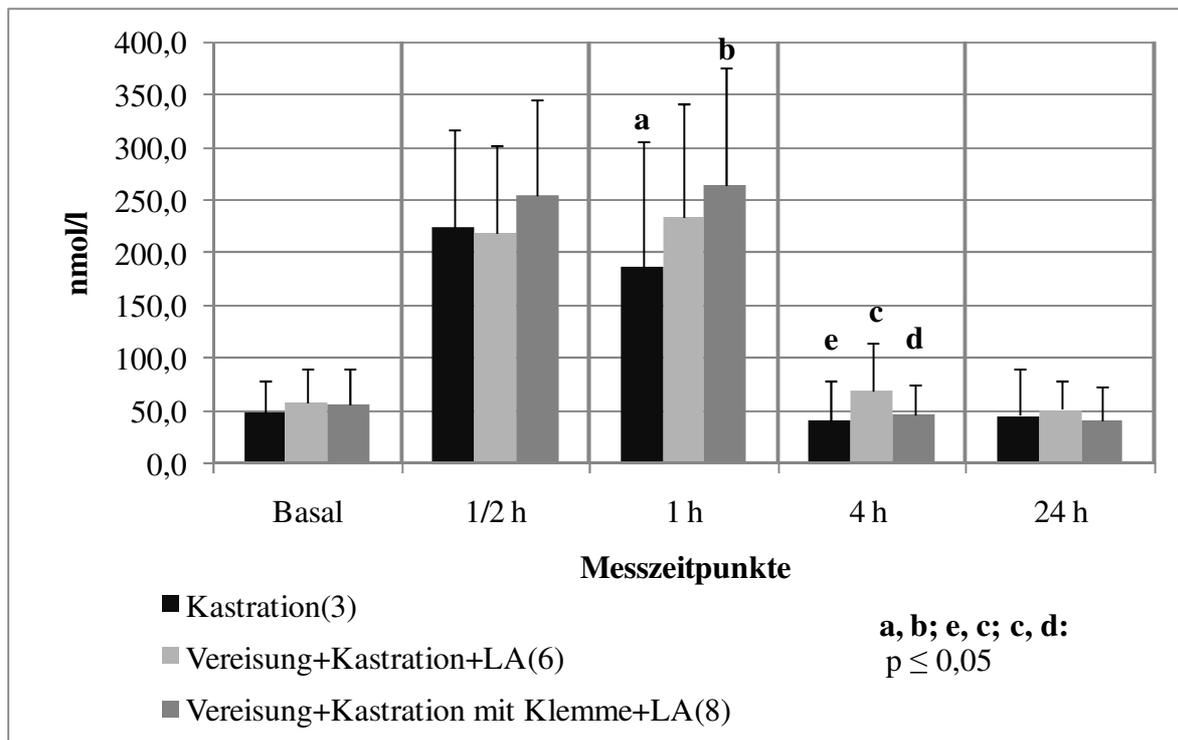


Abbildung 15: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Kastration(3), Vereisung+Kastration+LA(6) und Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) sowie deren Signifikanzen

Die Tiere aller drei Gruppen unterscheiden sich in ihren Basalwerten nicht signifikant ($p > 0,05$) und ihre Werte sind bis eine halbe Stunde nach Kastration signifikant angestiegen ($p < 0,001$, Tabelle 13 im Anhang).

Eine halbe Stunde nach dem Eingriff ist der Anstieg der Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) mit 198,6 nmol/l am höchsten. Die Cortisolwerte der Tiere dieser Gruppe betragen 254,5 nmol/l. Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6) weisen Cortisolwerte von 218,2 nmol/l auf, bei Tieren der Gruppe Kastration(3) betragen sie 223,9 nmol/l. Die Werte der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) unterscheiden sich nicht signifikant von denen der

Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6) ($p > 0,05$, Tabelle 14 im Anhang) oder der Gruppe Kastration(3) ($p > 0,05$, Tabelle 8).

Auch eine Stunde nach dem Eingriff sind die mittleren Cortisolkonzentrationen bei den Tieren der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) höher als bei den Tieren der Gruppen Kastration(3) und Vereisung+Kastration+LA(6). Ein signifikanter Unterschied der Tiere der Gruppe 8 zu den Tieren der Gruppe 6 besteht nicht ($p > 0,05$, Tabelle 14 im Anhang). Die Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) sind aber signifikant höher als die der Tiere der Gruppe Kastration(3) ($p \leq 0,05$, Tabelle 8).

Vier Stunden nach der Kastration betragen die absoluten Cortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppe Kastration(3) 41,5 nmol/l. Die der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) sind mit 47,5 nmol/l auf gleichem Niveau. Mit einer mittleren Serumcortisolkonzentration von 70,2 nmol/l unterscheiden sich die Werte der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6) signifikant von den Cortisolwerten dieser Gruppen ($p \leq 0,05$, Tabelle 8 und Tabelle 14 im Anhang).

Die Serumcortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6) sind bis 24 Stunden *post castrationem* signifikant abgesunken auf 51,7 nmol/l und unterscheiden sich nicht mehr signifikant von den Cortisolwerten der Tiere der Gruppen Kastration(3) (46,1 nmol/l) und Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) (41,3 nmol/l).

4.1.3 Abweichungen der mittleren Serumcortisolkonzentrationen vom Basalwert

Die Abweichungen der mittleren Serumcortisolkonzentrationen von dem jeweiligen Basalwert der Gruppe sind in Abbildung 16 dargestellt. Ist die Abweichung vom jeweiligen Basalwert signifikant, ist dies mit „*“ gekennzeichnet.

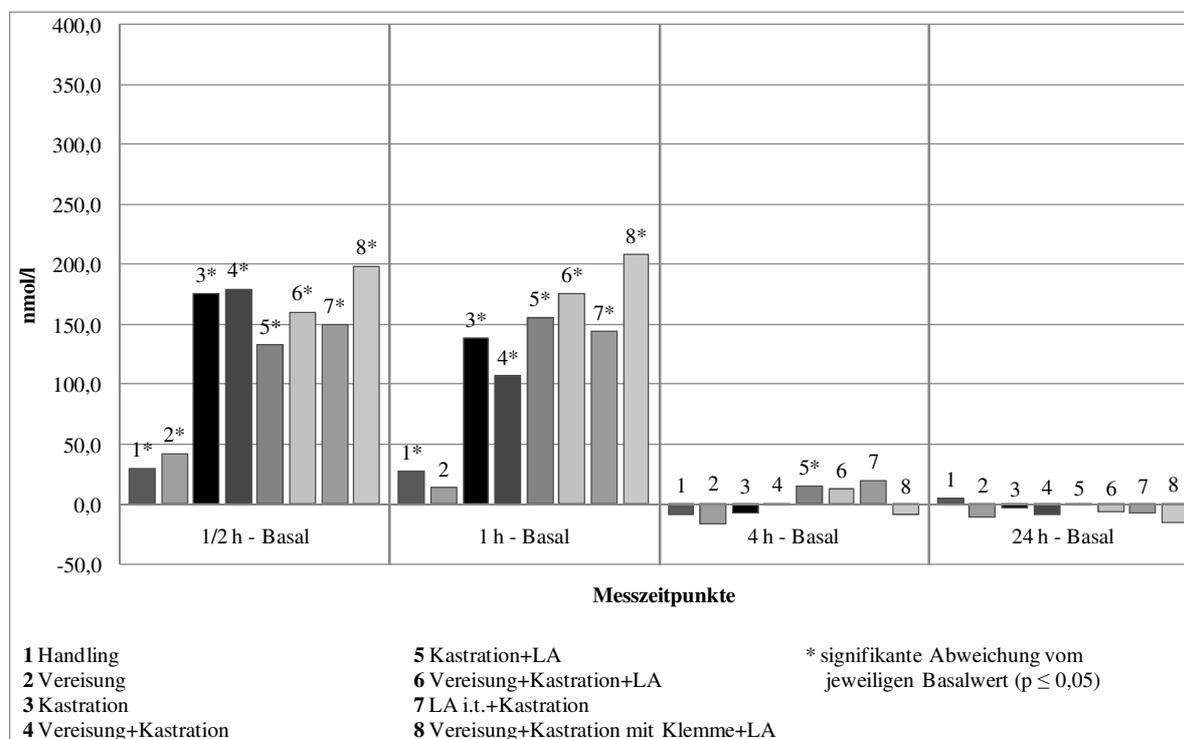


Abbildung 16: Abweichungen der mittleren Cortisolkonzentrationen vom Basalwert; Signifikante Abweichungen sind gekennzeichnet

Mittelwerte und Standardabweichung sowie Minima und Maxima der Differenzen zum Basalwert eine halbe, eine, vier und 24 Stunden nach dem Eingriff zeigt Tabelle 9.

Tabelle 9: Abweichungen der mittleren Cortisolwerte vom Basalwert: Mittelwerte (nmol/l), Standardabweichung sowie Minima und Maxima

Zeit	Gruppe	Mittelwert	SD	Min.	Max.
Basal zu ½ h	Handling(1)	30,0	36,9	-23,2	104,8
	Vereisung(2)	42,1	44,8	-45,7	195,4
	Kastration(3)	175,2	105,8	-28,8	433,0
	Vereisung+Kastration(4)	179,3	67,8	51,1	320,6
	Kastration+LA(5)	132,5	67,1	27,6	313,9
	Vereisung+Kastration+LA(6)	160,3	90,0	-45,2	345,0
	LA i.t.+Kastration(7)	149,9	93,4	30,4	358,5
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	198,6	105,1	-40,4	382,1
Basal zu 1 h	Handling(1)	27,7	62,4	-49,6	239,5
	Vereisung(2)	13,5	47,8	-87,6	147,3
	Kastration(3)	138,5	124,0	-45,6	484,3
	Vereisung+Kastration(4)	106,7	55,0	0,8	212,0
	Kastration+LA(5)	155,7	112,9	-17,7	476,2
	Vereisung+Kastration+LA(6)	175,5	112,8	-71,2	478,4
	LA i.t.+Kastration(7)	143,7	92,9	-14,2	323,4
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	207,6	125,6	-67,8	422,5
Basal zu 4 h	Handling(1)	-7,9	32,5	-66,0	60,3
	Vereisung(2)	-16,8	48,7	-151,9	78,1
	Kastration(3)	-7,2	37,8	-49,5	119,7
	Vereisung+Kastration(4)	0,7	36,6	-68,8	83,5
	Kastration+LA(5)	15,0	36,4	-51,5	90,5
	Vereisung+Kastration+LA(6)	12,4	45,5	-106,6	100,7
	LA i.t.+Kastration(7)	19,9	54,6	-94,7	167,5
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	-8,5	38,4	-101,0	65,3
Basal zu 24 h	Handling(1)	5,2	34,9	-53,35	89,3
	Vereisung(2)	-11,1	49,4	-148,0	64,5
	Kastration(3)	-2,6	39,7	-72,2	106,5
	Vereisung+Kastration(4)	-8,0	34,2	-61,9	88,3
	Kastration+LA(5)	-1	38,4	-76,2	156,7
	Vereisung+Kastration+LA(6)	-6,2	41,4	-110,2	92,5
	LA i.t.+Kastration(7)	-7,0	37,5	-105,4	90,6
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	-14,7	43,4	-143,1	56,2

Eine halbe Stunde nach dem Eingriff unterscheiden sich die mittleren Cortisolwerte der Tiere aller Gruppen signifikant von ihrem jeweiligen Basalwert ($p < 0,001$, Tabelle 15 im Anhang). Die Anstiege betragen 30,0 nmol/l bei Tieren der Gruppe Handling(1) und 42,1 nmol/l bei Tieren der Gruppe Vereisung(2) und unterscheiden sich zwischen den Tieren dieser beiden Gruppen nicht signifikant ($p > 0,05$, Tabelle 10). Die Anstiege bei den kastrierten Tieren variieren zwischen 132,5 nmol/l (Kastration+LA(5)) und 198,6 nmol/l (Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)). Damit sind die Abweichungen von ihren jeweiligen Basalwerten bei

den kastrierten Tieren (Gruppen 3-8) signifikant höher als bei den unkastrierten Tieren (Gruppe 1+2) ($p < 0,001$, Tabelle 15 im Anhang). Zwischen den Tieren der Kastrationsgruppen (Gruppen 3-8) bestehen keine signifikanten Unterschiede in den Abweichungen zum Basalwert ($p > 0,05$, Tabelle 10).

Eine Stunde nach dem Eingriff unterscheiden sich nur die Serumcortisolkonzentration der Tiere der Gruppe Vereisung(2) nicht mehr signifikant von ihrem Basalwert ($p > 0,05$, Tabelle 15 im Anhang). Die Werte der Tiere aller anderen Gruppen liegen noch immer signifikant über ihrem basalen Niveau ($p \leq 0,05$, Tabelle 15 im Anhang). Dabei beträgt die Abweichung vom Basalwert bei Tieren der Gruppe Handling(1) 27,7 nmol/l, die Abweichungen vom Basalwert der Cortisolwerte der kastrierten Tiere liegen zwischen 106,7 nmol/l und 207,6 nmol/l. Auch eine Stunde nach dem Eingriff weichen die Cortisolwerte der kastrierten Tiere (Gruppen 3-8) signifikant stärker von ihrem jeweiligen Basalwert ab als die der Unkastrierten (Gruppe 1+2) ($p \leq 0,05$, Tabelle 10). Die Abweichungen der Cortisolwerte vom Basalwert der Tiere der Gruppen 4-8 unterscheiden sich nicht signifikant von denen der Tiere der Gruppe Kastration(3) ($p > 0,05$, Tabelle 10).

Vier Stunden nach dem Eingriff differiert nur noch die Cortisolkonzentration der Tiere der Gruppe Kastration+LA(5) signifikant von seinem Basalwert ($p \leq 0,05$, Tabelle 15 im Anhang), die Tiere aller anderen Gruppen zeigen zu diesem Zeitpunkt keine signifikante Abweichung von ihrem Basalwert. Die Abweichungen der kastrierten Tiere (Gruppen 3-8) unterscheiden sich nicht mehr signifikant von denen der Tiere der Gruppe Handling(1) ($p > 0,05$, Tabelle 10). Die Abweichungen von ihrem jeweiligen Basalwert bei den Gruppen 4-8 unterscheiden sich nicht signifikant von der der Gruppe Kastration(3) ($p > 0,05$, Tabelle 10).

Ein Tag nach dem Eingriff unterscheiden sich die Cortisolwerte der Tiere nicht signifikant von den basalen Serumcortisolkonzentrationen ($p > 0,05$, Tabelle 15 im Anhang). Auch zwischen den Gruppen unterscheiden sich die Abweichungen der Cortisolwerte vom jeweiligen Basalwert der Tiere nicht signifikant (Tabelle 10).

Tabelle 10: p-Werte der Vergleiche der Abweichungen vom Basalwert aller acht Versuchsgruppen

Zeit	Gruppe	2	3	4	5	6	7	8
Basal zu 1/2 h	1	0,999	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	2		< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	3			1,000	0,472	0,997	0,939	0,971
	4				0,350	0,986	0,873	0,990
	5					0,893	0,993	0,080
	6						1,000	0,704
	7							0,422
Basal zu 1 h	1	0,999	0,001	0,045	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	2		< 0,001	0,008	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	3			0,916	0,998	0,835	1,000	0,197
	4				0,538	0,130	0,845	0,007
	5					0,994	1,000	0,561
	6						0,926	0,939
	7							0,307
Basal zu 4 h	1	0,993	1,000	0,994	0,450	0,613	0,228	1,000
	2		0,989	0,771	0,090	0,161	0,032	0,997
	3			0,997	0,495	0,658	0,260	1,000
	4				0,906	0,968	0,700	0,995
	5					1,000	1,000	0,522
	6						0,998	0,673
	7							0,294
Basal zu 24 h	1-7	p > 0,05						

4.2 Ergebnisse der Wundheilungskontrolle

Von den 221 in den Versuch aufgenommenen Tieren wurden 163 im Rahmen des Versuches kastriert. In den darauffolgenden drei Wochen wurde die Wundheilung beobachtet. Die drei Tiere, die noch am Tag der Kastration Anzeichen einer Allgemeinerkrankung aufwiesen oder bei der Messung der Serumcortisolkonzentrationen aufgrund von basalen Extremwerten auffielen, wurden nicht in die Auswertung des Wundscores miteinbezogen.

Von den übrigen 160 Tieren konnten drei nicht bis zum einundzwanzigsten Tag nach der Kastration kontrolliert werden. Ein Tier der Gruppe Vereisung+Kastration(4) verstarb bis zum vierzehnten Tag *post castrationem*, je ein Tier der Gruppen Vereisung+Kastration(4) und Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) bis zum einundzwanzigsten Tag nach Kastration (Tabelle 11).

Tabelle 11: Überblick über die Zahl der in den Versuch aufgenommenen und ausgewerteten Tiere an den Tagen 0 (Kastration) bis 21

Gruppe	d 0	d 1	d 4	d 7	d 14	d 21
Kastration(3)	28	28	28	28	28	28
Vereisung+Kastration(4)	28	28	28	28	<u>27</u>	<u>26</u>
Kastration+LA(5)	28	28	28	28	28	28
Vereisung+Kastration+LA(6)	29	<u>28</u>	28	28	28	28
LA i.t.+Kastration(7)	29	<u>27</u>	27	27	27	27
Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	21	21	21	21	21	<u>20</u>

In Abbildung 17 sind die Ergebnisse der Auswertung der Wundscores der Tiere der Gruppen 3-8 zu den fünf Untersuchungstagen graphisch dargestellt.

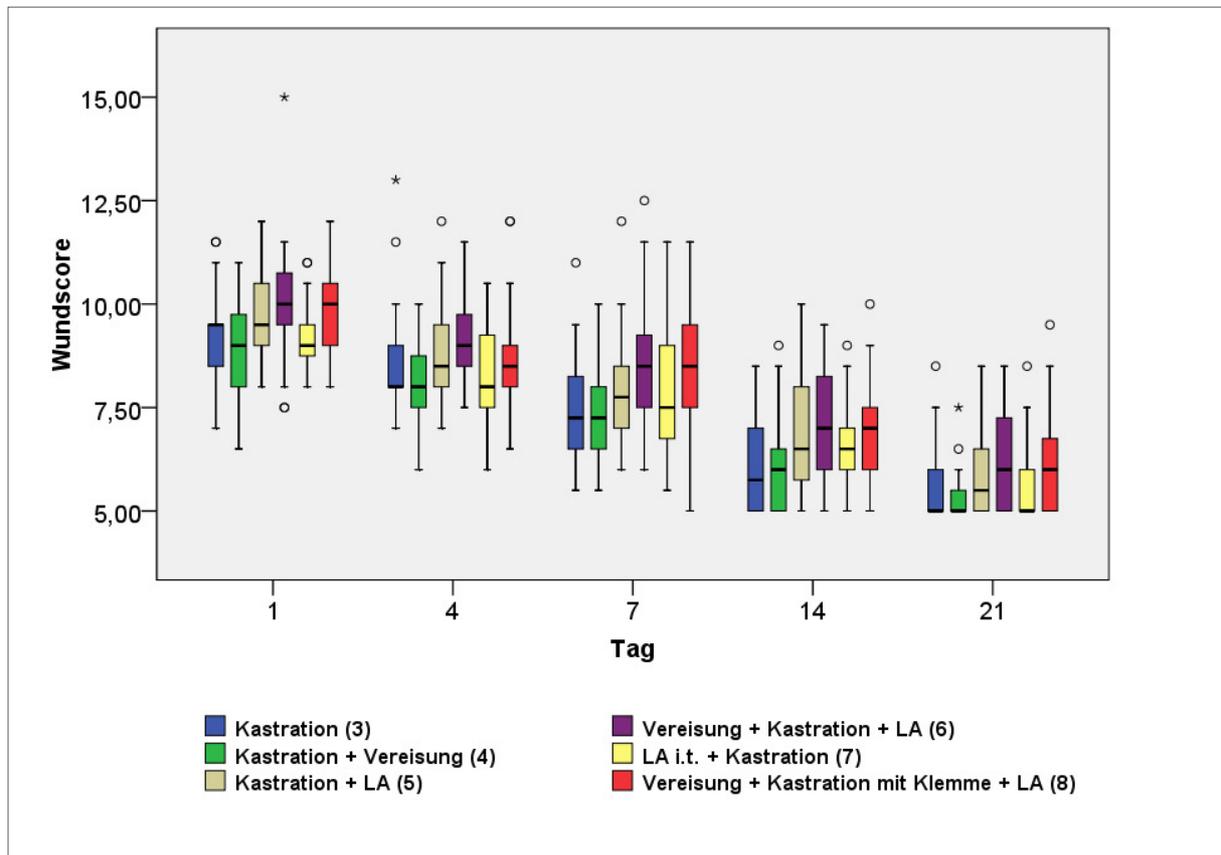


Abbildung 17: Darstellung des Wundheilungsverlaufes aller kastrierten Tiere (Gruppen 3-8) bis 21 Tage nach der Kastration anhand von Boxplots

Die p-Werte der Vergleiche der Wundheilung von Tieren der Gruppe Kastration(3) mit der Wundheilung von Tieren der Gruppen 4-8 sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Signifikanzen der Vergleiche der Wundheilung bei den Tieren der Gruppe 3 mit denen der Gruppen 4-8

	Tag	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7	Gruppe 8
Kastration (Gruppe 3)	1	> 0,05	0,179	0,016	> 0,05	0,039
	4		0,107	0,004		0,234
	7		0,099	0,002		0,034
	14		0,010	0,002		0,041
	21		0,270	0,018		0,125

Median, die Perzentile Q. 25 und Q. 75, Mittelwert und Standardabweichung des Wundscores aller kastrierten Tiere an allen Untersuchungstagen sind Tabelle 16 im Anhang zu entnehmen.

Bei allen Tieren nimmt der Wundscore von Tag eins bis 21 kontinuierlich ab. Der Wundheilungsverlauf der Tiere der Gruppen Vereisung+Kastration(4) und LA i.t.+Kastration(7) unterscheidet sich nicht signifikant von dem der Tiere der Gruppe Kastration(3) ($p > 0,05$).

Tiere der Gruppe Kastration+LA(5) weisen am Tag sieben einen tendenziell höheren Wundscore auf als Tiere der Gruppe Kastration ($p = 0,099$). Am Tag 14 ist dieser Unterschied signifikant ($p \leq 0,05$). Wird die Skrotalregion der Tiere zusätzlich vereist (Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6)), ist der Wundscore zu allen Untersuchungstagen signifikant höher als bei Tieren der Gruppe Kastration(3) ($p \leq 0,05$). Bei Einsatz der Klemme (Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)) erreicht der Wundscore an den Tagen eins, sieben und 14 signifikant höhere Werte als bei Tieren der Gruppe Kastration(3) ($p \leq 0,05$).

5. Diskussion

In vielen europäischen Ländern wird derzeit nach Alternativen zur betäubungslosen Ferkelkastration gesucht (PIGCAS, EU-PROJEKT, 2008). Inzwischen ist das Bestreben, geeignete Verfahren anzuwenden, in der Richtlinie über die Mindestanforderungen für die Haltung von Schweinen auch gesetzlich verankert. Langfristig wird ein vollkommener Verzicht auf die chirurgische Kastration angestrebt (BORELL et al., 2008, ZDS, 2008). Bis jedoch geeignete Methoden ausgereift sind, konzentrieren sich mittelfristige Lösungsansätze auf die immunologische Kastration sowie für Saugferkel geeignete Anästhesie- und Analgesiemethoden.

In Österreich erweckte 2008 die „Gasteiner Methode“ großes Interesse. Vorteile davon sind laut GASTEINER et al. (2008) neben der Verminderung kastrationsbedingter Schmerzen der geringe Zeitaufwand (etwa 30 Sekunden Mehraufwand pro Tier), die einfache Handhabung der verwendeten Medikamente (Sprayform) sowie der geringe finanzielle (25 Cent/Ferkel) und apparative Aufwand. Als problematisch werden die fehlende Betäubung des Samenstranges vor Absetzen der Hoden und auch die unpraktische Handhabung der Klemme zur Fixation des Samenstranges betrachtet. In einer nachfolgenden Arbeit von HAIMEL (2008) erfolgen deshalb zusätzlich die Kryoanalgesie des Samenstranges und das Absetzen des Hodens mit einem Emaskulator, wodurch jedoch keine signifikante Minderung der neuroendokrinen Stressreaktion erreicht werden konnte. Auch durch den zusätzlichen Einsatz von Ketoprofen kann keine signifikante Minderung der Stressreaktion im Vergleich zur konventionellen Kastration erreicht werden (FETTINGER, 2008). Vokalisationsanalysen von RITTERSHAUS (2009) weisen indes darauf hin, dass die Applikation des Kältesprays selbst ein stark schmerzhaftes Ereignis ist. Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es, den Einfluss von Kryobehandlung, intraoperativ applizierter Lokalanästhesie und Fixation des Samenstranges auf die neuroendokrine Stressreaktion und damit auf den Kastrationsschmerz der Ferkel differenziert zu eruieren. Zu beachten ist dabei, dass für die eigenen Untersuchungen nicht wie bei den oben genannten Versuchen Lidocain, sondern aufgrund arzneimittelrechtlicher Bestimmungen Procain verwendet wurde. Dieses wurde aufgrund arzneimittelrechtlicher Bestimmungen nicht wie bei GASTEINER et al. (2008) umgefüllt und als Spray verwendet, sondern mittels einer Knopfkanüle auf den Samenstrang bzw. in die Wunde geträufelt.

5.1 Cortisol als Schmerzparameter

Die Messung des Serumcortisolspiegels zur Evaluation der neuroendokrinen Stressreaktion hat sich in vielen Studien etabliert und dient auch in dieser Studie zur Einschätzung von Schmerzen und Unwohlsein (MOLONY und KENT, 1997; PRUNIER et al., 2005; ZÖLS, 2006; LANGHOFF, 2008). MOLONY und KENT (1997) weisen darauf hin, dass bei der Evaluierung von Schmerzen anhand der Cortisolgehalte beachtet werden muss, dass vor und nach dem zu bewertenden Eingriff mehrere Messungen durchgeführt werden müssen, um den Verlauf der Serumcortisolkonzentrationen richtig einschätzen zu können. Individuelle Variationen, circadiane Schwankungen im Cortisolgehalt und eine Vielzahl von Stressoren, die ebenfalls auf die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse einwirken, limitieren laut diesen Autoren die Aussagekraft des Parameters Cortisol. MORTON und GRIFFITHS (1985) erachten die Messung physiologischer Blutparameter zur Evaluation von Schmerzen oder Stress nur dann für sinnvoll, wenn zuvor die Normalwerte ermittelt werden. Diesen Forderungen wird in dieser Studie durch die Wahl der Messzeitpunkte, Existenz einer Negativkontrolle durch die Tiere der Gruppe Handling(1), die Art der Randomisierung und die standardisierte Durchführung aller zootechnischen Maßnahmen nachgekommen. Untersuchungen von LANGHOFF (2008) zeigen, dass bei drei bis fünf Tage alten Saugferkeln noch keine episodische Cortisolsekretion erfolgt. Ein stabiler circadianer Rhythmus ist frühestens ab dem zehnten Lebenstag nachweisbar (GALLAGHER et al., 2002). Trotzdem wurde in den eigenen Untersuchungen auf zeitliche Synchronisation des Versuchsablaufes geachtet. Die von MORTON und GRIFFITHS (1985) geforderten Normalwerte werden durch Bestimmung der basalen Cortisolkonzentrationen der Tiere in allen acht Versuchsgruppen ermittelt. Durch die Messung der Serumcortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppe Handling(1) kann der Einfluss von Manipulation, Fixation im Kastrationsbock und Desinfektion der Skrotalregion auf die Sekretion der Nebennierenrinde erwogen werden. Die Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Handling(1) steigen von anfangs 48,5 nmol/l auf 78,5 nmol/l und liegen eine Stunde nach der Fixation bei 76,2 nmol/l. Vier Stunden nach dem Eingriff können wieder basale Konzentrationen (40,5 nmol/l) gemessen werden. Dass die Serumcortisolkonzentrationen der Tiere der Handlingsgruppe(1) ($p \leq 0,05$) eine halbe Stunde und eine Stunde nach der Fixation signifikant zum Basalwert ansteigen, lässt den Schluss zu, dass auch Blutentnahme und Fixation bei den Tieren Stress auslösen. Diese Beobachtungen entsprechen denen von SCHULZ (2007), GASTEINER et al. (2008), LANGHOFF (2008) und MÜHLBAUER (2009).

Die im Vergleich zu den Cortisolwerten der Tiere der Gruppe Handling(1) signifikant höheren Werte der Tiere der Gruppe Kastration(3) eine halbe Stunde (223,9 nmol/l) und eine Stunde (187,2 nmol/l) nach dem Eingriff und die zu diesen Zeitpunkten signifikant höheren Abweichungen vom jeweiligen Basalwert sind folglich kastrationsbedingt ($p \leq 0,05$). Ähnliche Rückschlüsse ziehen auch PRUNIER et al. (2005).

Betrachtet man den Serumcortisolverlauf der in Gruppe 3 kastrierten Tiere bis 24 Stunden nach Kastration, so ist dieser vergleichbar mit den Ergebnissen von PRUNIER et al. (2005), CAROLL et al. (2006), SCHULZ (2007), LANGHOFF (2008) und MÜHLBAUER (2009). Die Serumcortisolkonzentrationen sind eine halbe Stunde nach dem Eingriff am höchsten, bis vier Stunden nach dem Eingriff bereits deutlich gesunken und haben 24 Stunden nach dem Eingriff wieder basales Niveau erreicht. In allen Studien unterscheiden sich die Cortisolwerte der kastrierten Tiere deutlich von denen der unkastrierten Tieren, wie es auch in der vorliegenden Untersuchung der Fall ist. Die über die Serumcortisolkonzentrationen messbare schmerzbedingte Stressreaktion ist also bei betäubungsloser Kastration nach vier Stunden abgeklungen.

5.2 Auswirkungen der Kryobehandlung

Über den Einsatz der Kryoanalgesie liegen in der Tiermedizin bisher wenige Erfahrungen vor. Positive Auswirkungen hat die Kryobehandlung scheinbar beim Kupieren der Schwänze von Saugferkeln. Während und kurz nach der Schwanzamputation mittels Elektrobrenner können laut PRUNIER et al. (2001) weniger schmerzspezifische Verhaltensweisen beobachtet werden, wenn vor dem Absetzen eine Kryobehandlung erfolgt ($p < 0,05$). GASTEINER et al. (2008) können in Kombination mit aufgesprühtem Lokalanästhetikum einen schmerzlindernden Effekt bei der Ferkelkastration feststellen. In nachfolgenden Arbeiten von HAIMEL (2008) und FETTINGER (2008) wird bei einer Kastrationsmethode mit Kryobehandlung von Skrotum und Samenstrang jedoch keine signifikante Minderung der neuroendokrinen Stressreaktion im Vergleich zu betäubungslos kastrierten Ferkeln festgestellt ($p > 0,05$). Vokalisationsanalysen von RITTERSHAUS (2009) geben sogar Hinweise auf starke Schmerzen während der Vereisung von Skrotum und Samenstrang. Grund für diese unterschiedlichen Befunde könnte die Dauer der Vereisung sein. In den Studien von GASTEINER et al. (2008), HAIMEL (2008) und FETTINGER (2008), in denen kein negativer Effekt der Vereisung ersichtlich ist, erfolgt die Vereisung mit einem Chlorethanspray aus 10-15 cm Entfernung für vier bis fünf Sekunden, was den Tieren der

eigenen Studie entsprechen dürfte, bei denen Oberflächentemperaturen von $\geq 0\text{ °C}$ gemessen wurden. In den Untersuchungen von RITTERSHAUS (2009) wird ebenfalls Chlorethan verwendet, allerdings aus 10 cm Entfernung für 10-15 Sekunden, wodurch in der eigenen Studie Oberflächentemperaturen $< 0\text{ °C}$ erreicht wurden. Analog zu den Ergebnissen von DZUBOW (1985) wäre zu erwarten, dass nicht nur das Ausmaß an histologischen Veränderungen mit der Dauer der Kryogenapplikation zunimmt, sondern auch die neuroendokrine Stressreaktion. Auch eigene Beobachtungen zeigen, dass das Ausmaß an Abwehrbewegungen der Ferkel zunimmt, je länger das Kältespray appliziert wird. Sind Oberflächentemperaturen von -10 bis -12 °C erreicht, ist das Skrotum von einer dicken Eisschicht bedeckt, nach Abtauen des Eisfilms ist die Skrotalhaut von derb ledriger Konsistenz. Im Gegensatz dazu zeigt sich im Vergleich der auf Temperaturen $\geq 0\text{ °C}$ und $< 0\text{ °C}$ vereisten Tiere kein signifikanter Unterschied in den mittleren Cortisolkonzentrationen. Grund dafür ist möglicherweise die relativ hohe Standardabweichung. Für die eigenen Untersuchungen wurde aus den vorliegenden Ergebnissen der Schluss gezogen, dass die Cortisolwerte der Tiere, deren Skrotalhaut auf Temperaturen $\geq 0\text{ °C}$ und $< 0\text{ °C}$ vereist wurden, zusammengefasst bewertet werden können. Ob das Ausmaß an Schmerzen und Unwohlsein durch eine längerdauernde Vereisung auf tiefere Hauttemperaturen zunimmt, wäre durch weitere Untersuchungen zu eruieren.

Bei zusammengefasster Bewertung der auf unterschiedliche Temperaturen vereisten Teilgruppen weisen die Tiere der Gruppe Vereisung(2) eine halbe Stunde nach dem Eingriff signifikant höhere Cortisolwerte auf als Tiere der Gruppe Handling(1) ($100,2\text{ nmol/l}$ vs. $78,5\text{ nmol/l}$, $p \leq 0,05$). Auch im Vergleich der Gruppen Kastration+LA(5) und Vereisung+Kastration+LA(6) erreichen die Tiere, deren Skrotalregion vereist wurde, nach einer halben Stunde tendenziell höhere Werte ($p = 0,079$). Die Cortisolkonzentrationen der normal kastrierten Tiere und der Tiere, deren Skrotum zuvor vereist wurde, weisen jedoch keine signifikanten Unterschiede auf ($p > 0,05$). Der Anstieg der mittleren Cortisolkonzentrationen eine halbe Stunde nach Handling beträgt $30,0\text{ nmol/l}$, bei vorheriger Vereisung beträgt er $42,1\text{ nmol/l}$ und bei Kastration $175,2\text{ nmol/l}$. Zieht man daraus Rückschlüsse auf das Ausmaß der empfundenen Schmerzen, scheint die Vereisung im Vergleich zur Kastration ein weniger schmerzhaftes Ereignis zu sein. Demnach sind die Auswirkungen der Vereisung auf die neuroendokrine Stressreaktion möglicherweise nur dann deutlich erkennbar, wenn sie nicht durch wesentlich höhere, wie die der Kastration, überlagert werden. Durch Einträufeln des Lokalanästhetikums nach der Kastration fällt die neuroendokrine Stressreaktion zumindest in der ersten halben Stunde tendenziell niedriger aus

($p = 0,058$) als bei betäubungsloser Kastration, wodurch der Effekt der Vereisung möglicherweise wieder erkennbar wird.

Für den Rückschluss, dass die Vereisung zwar Stress und Unwohlsein bei den Tieren hervorruft, im Vergleich zur Kastration aber nur eine moderate Stressreaktion hervorruft, sprechen die Abweichungen vom Basalwert. Diese unterscheiden sich nach einer halben Stunde nicht signifikant zwischen den Gruppen Handling(1) (30,0 nmol/l) und Vereisung(2) (42,1 nmol/l), den Gruppen Kastration(3) (175,2 nmol/l) und Vereisung+Kastration(4) (179,3 nmol/l) sowie zwischen Kastration+LA(5) (132,5 nmol/l) und Vereisung+Kastration+LA(6) (160,3 nmol/l) ($p > 0,05$).

Zu analogen Ergebnissen kommt auch RITTERSHAUS (2009). In der von ihr durchgeführten Studie weisen die unkastrierten, aber fixierten und vereisten Tiere eine Stunde nach dem Eingriff signifikant geringere Cortisolwerte auf als Ferkel, die kastriert wurden ($p = 0,001$). Tiere, deren Skrotum und Samenstrang vor Kastration vereist wurden haben zu diesem Zeitpunkt höhere mittlere Cortisolwerte als normal kastrierte Ferkel, der Unterschied ist jedoch nicht signifikant ($p > 0,05$). Die Vokalisationsanalyse gibt jedoch Hinweise darauf, dass durch die Chlorethanapplikation zwar eine geringere Schmerzhaftigkeit des Hautschnitts zu erwarten ist, während der Applikation selbst aber starke Schmerzen auftreten.

5.3 Auswirkungen der prä- und intraoperativen Applikation von Lokalanästhetikum

Über den Einsatz der Lokalanästhesie im Bereich der chirurgischen Saugferkelkastration existieren unterschiedliche Erkenntnisse, was wahrscheinlich auch durch die verschiedenen Methoden der Schmerzevaluierung bedingt ist, die in den jeweiligen Studien zum Einsatz kommen. Mehrere Autoren können eine analgetische Wirkung während der Kastration durch die vorherige intratestikuläre Applikation von Lidocain oder Procain feststellen (WHITE et al., 1995; HORN et al., 1999; HAGA und RANHEIM, 2005; RITTERSHAUS, 2009). Andere Autoren wie ZÖLS (2006) und ZANKL (2007) können durch die Applikation von Lokalanästhetika keine Minderung der schmerzinduzierten Stressreaktion nachweisen. In den eigenen Untersuchungen ist durch die intratestikuläre Applikation von Procain mit Sperrkörper keine signifikante Reduktion der neuroendokrinen Stressreaktion im Vergleich zu betäubungslos kastrierten Tieren ersichtlich. Wird das Lokalanästhetikum hingegen intraoperativ eingeträufelt, zeigen die Tiere eine halbe Stunde nach Kastration tendenziell

niedrigere Cortisolwerte als die betäubungslos kastrierten Tiere ($p = 0,058$). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Cortisolwerten der Tiere der Gruppen Kastration+LA(5) und LA i.t.+Kastration(7) besteht nicht (181,1 nmol/l vs. 198,5 nmol/l, $p > 0,05$). Die intratestikuläre Injektion übt demnach auf die neuroendokrine Stressreaktion keinen größeren Einfluss auf als das Einträufeln des Lokalanästhetikums. Dies entspricht Ergebnissen von ZANKL (2007), die zeigen, dass durch die intratestikuläre Injektion von Natriumchloridlösung die Serumcortisolspiegel nicht beeinflusst werden. Problematisch ist die Tatsache zu betrachten, dass bei der Methode, die auf die intratestikuläre Applikation verzichtet, das Lokalanästhetikum erst nach Durchtrennen des Samenstranges in die Wunde gegeben wird (GASTEINER et al., 2008). Bei einer Anflutungszeit des Procain von fünf bis zehn Minuten ist demnach erst einige Minuten nach vollendeter Kastration mit lokalanästhetischer Wirkung zu rechnen (LÖSCHER, 2006a), wodurch die Forderungen einer Kastration unter Schmerzausschaltung nicht erfüllt werden können.

Auch die zusätzliche Vereisung der Skrotalhaut der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6), wodurch eine Kryoanalgesie der Skrotalhaut bei Schnittsetzung erreicht werden soll, kann keine Minderung der neuroendokrinen Stressreaktion im Vergleich zu betäubungslos kastrierten Tieren bewirken. Vielmehr sind die mittleren Serumcortisolkonzentrationen der Tiere der Gruppen 5, 6 und 7 nach einer Stunde höher als die der betäubungslos kastrierten (Gruppe 3), nach vier Stunden ist dieser Unterschied sogar signifikant ($p \leq 0,05$). Die betäubungslos kastrierten Tiere erreichen nach einer halben Stunde ihre maximalen Cortisolwerte (223,9 nmol/l), wie auch in Studien von SCHULZ (2007), LANGHOFF (2008) und MÜHLBAUER et al. (2009). Nach einer Stunde sind die Werte der betäubungslos kastrierten Tiere bereits signifikant gesunken (187,2 nmol/l, $p \leq 0,05$). Im Gegensatz dazu erreichen Tiere der Gruppen Kastration+LA(5) und Vereisung+Kastration+LA(6) erst nach einer Stunde maximale Cortisolwerte (Gruppe 5: 204,2 nmol/l, Gruppe 6: 233,3 nmol/l). Die Cortisolkonzentrationen der intratestikulär gespritzten Tiere verändern sich im Zeitraum zwischen einer halben und einer Stunde nach Kastration kaum (198,5 nmol/l vs. 192,3 nmol/l). Nach vier Stunden weichen die Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Kastration+LA(5) noch signifikant von ihrem Basalwert ab, und auch die Werte der Gruppen Vereisung+Kastration+LA(6) und LA i.t.+Kastration(7) liegen noch leicht über ihrem basalem Niveau, während die Cortisolwerte der betäubungslos kastrierten Tiere basales Niveau erreicht haben. Auch bei ZANKL (2007) ist ein verzögerter Abfall der Cortisolwerte der mit Procain und Epinephrin behandelten Tiere im Vergleich zu den Cortisolwerten der betäubungslos kastrierten Tiere zu erkennen. Es liegt die Vermutung

nahe, dass dieser verzögerte Abfall der Cortisolwerte eine Reaktion auf die nachlassende Wirkung des Procains ist. Nach LÖSCHER (2006a) hält die lokalanästhetische Wirkung des Procains mit Sperrkörper etwa eine halbe bis eine Stunde lang an. Kommt es durch die nachlassende schmerzlindernde Wirkung zu einer erneuten Cortisolausschüttung, können die Cortisolwerte vier Stunden nach der Kastration bei einer Halbwertszeit von Cortisol von etwa eineinhalb Stunden noch über basalem Niveau liegen (LENNERNÄS et al., 2008).

5.4 Auswirkungen der Kastration mit Kryobehandlung, Klemme und Lokalanästhetikum

GASTEINER et al. (2008) erzielen durch die Vereisung der Skrotalhaut vor Kastration und das Besprühen des fixierten Samenstrangstumpfes mit Lidocain mit Sperrkörper Hinweise auf eine verminderte Schmerzhaftigkeit des Eingriffes im Vergleich zur betäubungslosen Saugferkelkastration. Die nach der „Gasteiner Methode“ kastrierten Ferkel weisen geringere Abweichungen vom basalen Serumcortisolspiegel eine halbe Stunde nach dem Eingriff auf und zeigen, im Gegensatz zu 30 % der betäubungslos kastrierten Tiere, keine schmerzspezifischen Verhaltensweisen wie kyphotische Rückenlinie oder Rutschen in sitzender Position.

Die eigenen Untersuchungen führen zu entgegengesetzten Ergebnissen. Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) weisen eine halbe Stunde nach Kastration höhere Cortisolwerte auf als Tiere aller anderen Gruppen, nach einer Stunde sind die Cortisolwerte der Tiere der Gruppe 8 im Vergleich zu denen der betäubungslos kastrierten (Gruppe 3) signifikant erhöht (263,6 nmol/l vs. 187,2 nmol/l, $p = 0,026$). Untersuchungen von WHITE et al. (1995), TAYLOR und WEARY (2000) und MARX et al. (2003) zeigen, dass der Zug am Samenstrang und dessen Manipulation als sehr schmerzhaft anzusehen sind. Demzufolge ist wahrscheinlich auch das Anbringen der Klemme, was eigenen Beobachtungen zufolge auch eine Steigerung der Abwehrbewegungen zur Folge hat, als hoch schmerzhaft anzusehen, wodurch eine Steigerung der schmerzbedingten Stressreaktion erfolgt. Dafür spricht auch die Tatsache, dass die Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6) zwar höher sind als die der betäubungslos kastrierten Tiere (Gruppe 3), aber unter denen liegen, bei welchen zusätzlich eine Klemme eingesetzt wurde (Gruppe 8). Grund für die im Vergleich zu GASTEINER et al. (2008) widersprüchlichen Ergebnisse kann das eingesetzte Lokalanästhetikum sein. Das von GASTEINER et al. (2008) verwendete Lidocain mit Sperrkörper hat einen schnelleren Wirkungseintritt als das in diesem

Versuch verwendete Procain mit Sperrkörper und eine mit bis zu vier Stunden wesentlich längere Wirkdauer (LÖSCHER, 2006a), wodurch ein analgetischer Effekt schneller eintritt und länger vorhält. Die im Vergleich zur „Gasteiner Methode“ andere Applikationsform des Lokalanästhetikums (Träufeln vs. Spray) dürfte nach eigenen Einschätzungen keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben, da auch durch das Träufeln ein Benetzen des Samenstranges und der Wundränder mit Lokalanästhetikum sichergestellt werden kann. Problematisch bleibt aber auch nach GASTEINER et al. (2008) die Tatsache zu bewerten, dass der Samenstrang bis nach Absetzen der Hoden unanästhesiert bleibt. Eine intraoperative Schmerzausschaltung ist demnach nicht gegeben.

In den eigenen Untersuchungen zeigen Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme +LA(8) außerdem einen Anstieg der Serumcortisolkonzentrationen von einer halben Stunde nach Kastration bis eine Stunde nach dem Eingriff, währenddessen die Werte der betäubungslos kastrierten Tiere (Gruppe 3) eine Stunde nach Kastration schon signifikant gesunken sind ($p \leq 0,05$). Dies ist analog zum Verlauf der Cortisolwerte der anderen Tiere, bei denen das Lokalanästhetikum intraoperativ eingeträufelt wurde (Gruppe 5+6), und ist wahrscheinlich eine Folge der nachlassenden Wirkung des Lokalanästhetikums. Interessant ist, dass sich die Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) im Gegensatz zu den Werten der anderen mit Lokalanästhetikum behandelten Tiere nach vier Stunden nicht mehr signifikant von den Werten der betäubungslos kastrierten Tiere (Gruppe 3) unterscheiden. Sie liegen, genau wie die Cortisolwerte der Tiere der Gruppe Kastration(3), unter basalem Niveau.

5.5 Wundheilungsverlauf

Wunden, die durch die chirurgische Saugferkelkastration entstehen, sind für gewöhnlich glatte Schnittwunden. Sind die Wundränder glatt und ist wenig Gewebe gequetscht, tritt eine primäre Wundheilung ein und nach fünf bis zehn Tagen ist die Wunde verheilt (LITZKE et al., 2004; RYTZ, 2004). Ergebnisse von LACKNER (2003), ZÖLS (2006), ZANKL (2007), LANGHOFF (2008) und RITTERSHAUS (2009) zeigen, dass bei einem Großteil der betäubungslos kastrierten Tiere die Wundheilung zwei Wochen nach der Kastration abgeschlossen ist.

Die Beurteilung der Wundheilung in der vorliegenden Untersuchung orientiert sich an der Untersuchungsmethode von ZANKL (2007) und LANGHOFF (2008). Da die Beurteilung des

Heilungsverlaufes trotz der Verwendung eines Punktesystems eine subjektive Evaluationsmethode ist, wurde sie in der vorliegenden Untersuchung immer von der gleichen Person durchgeführt. Der von LACKNER (2003) gezeigte Einfluss des Alters auf den Wundheilungsverlauf spielt in dieser Studie keine Rolle, da alle Tiere einheitlich zwischen fünf und sieben Tage alt sind. In der eigenen Untersuchung zeigen die Tiere der Gruppe Kastration(3) zwei Wochen nach der Kastration analog zu Ergebnissen von LACKNER (2003) und LANGHOFF (2008) eine gute Heilungstendenz.

Allerdings verläuft die Wundheilung signifikant schlechter, wenn Lokalanästhetikum in den Wundspalt ein- oder auf den Samenstrang aufgeträufelt wird. Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration+LA(6) weisen zu allen Untersuchungstagen einen signifikant höheren Wundscore auf als die betäubungslos kastrierten Tiere der Gruppe 3 ($p \leq 0,05$). Bei Tieren der Gruppe Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) ist der Unterschied an den Tagen eins, sieben und 14 signifikant, bei Tieren der Gruppe 5 (Kastration+LA) nur am Tag 14 ($p \leq 0,05$). Im Versuch von GASTEINER et al. (2008) wird die Wundheilung zwischen dem fünften und siebten Tag *post castrationem* kontrolliert, und es können weder bei den betäubungslos kastrierten Tieren noch bei den nach der „Gasteiner Methode“ kastrierten Tieren Wundheilungsstörungen beobachtet werden.

Obwohl in den eigenen Untersuchungen auf strenge Hygiene bei der Kastration geachtet wurde (regelmäßiges Wechseln der Handschuhe, Desinfektion von Klemme und Knopfkanülen, neue Skalpellklinge für jedes Ferkel) liegt der Verdacht nahe, dass durch die Knopfkanüle ein vermehrter Eintrag von Keimen erfolgt, was die Wundheilung verzögert. Außerdem wird durch den Einsatz der Klemme ein Gewebstrauma gesetzt, wodurch Zelldetritus entsteht, der wiederum die Ansiedlung von Keimen begünstigt (RYTZ, 2004). Bei RITTERSHAUS (2009) erfolgt bei einer Versuchsgruppe das Aufsprühen von Lidocain auf den von Hand fixierten Samenstrang und das Absetzen der Hoden mittels Emaskulator, der nach jedem Ferkel desinfiziert wurde. Bei dieser Vorgehensweise kann kein negativer Effekt auf die Wundheilung beobachtet werden. Allerdings beschreibt RITTERSHAUS (2009) bei Tieren, denen Procain intraskrotal und/oder intratestikulär appliziert wurde, Wundheilungsstörungen in Form von Funikulitiden und verzögertem Wundschluss. Auch ZANKL (2007) kann sieben Tage nach dem Eingriff bei Tieren, denen Procain mit Sperrkörper intratestikulär appliziert wurde, eine signifikant schlechtere Wundheilung im Vergleich zu den unbehandelt kastrierten Tieren feststellen. In den eigenen Untersuchungen unterscheidet sich der Wundheilungsverlauf der Tiere der Gruppe LA i.t.+Kastration(7)

jedoch nicht signifikant von dem der Tiere der Gruppe Kastration(3). Auch in der Arbeit von WALDMANN et al. (1994) und ZÖLS (2006) wird durch die intratestikuläre Applikation eines Lokalanästhetikums die Wundheilung der Tiere nicht signifikant im Vergleich zu betäubungslos kastrierten Tieren verschlechtert ($p > 0,05$).

Die Tiere der Gruppe Vereisung+Kastration(4) zeigen in dieser Studie im Vergleich zu Tieren der Gruppe Kastration(3) kein verändertes Wundheilungsverhalten. Bei RITTERSHAUS (2009) ist die Wundheilung bei den betäubungslos kastrierten Tieren besser als bei den Tieren, deren Skrotalregion vorher vereist wurde.

6. Schlussfolgerungen

In Österreich wurde mit der „Gasteiner Methode“ eine neue Alternative zur Saugferkelkastration ohne Schmerzausschaltung vorgestellt. Kernpunkte dieser Technik sind die Vereisung der Skrotalhaut mittels Chlorethanspray, das Fixieren des Samenstranges mit einer Klemme und das Aufsprühen eines Lokalanästhetikums (Lidocain mit Sperrkörper) auf den fixierten Samenstrangstumpf nach Absetzen der Hoden. Anhand von Verlaufsmessungen des Serumcortisolspiegels der Ferkel und Verhaltensbeobachtungen wurde gefolgert, dass durch diese Methode eine Schmerzlinderung erreicht werden kann (GASTEINER et al., 2008).

Ziel der vorliegenden Studie ist es, den Einfluss von Vereisung, intratestikulärer und eingeträufelter Lokalanästhesie (Procain mit Sperrkörper) sowie Einsatz der Klemme auf Schmerzen und Stress während der Kastration zu eruieren. Zusätzlich wurde der Wundheilungsverlauf beobachtet. Das Ausmaß an Stress und Schmerzen wird anhand der Serumcortisolkonzentrationen bewertet. Die Wundheilung wurde bis drei Wochen nach dem Eingriff mittels eines Punktesystems evaluiert. Die Feststellung vieler Autoren, dass sich Serumcortisol gut zur Einschätzung der neuroendokrinen Stressreaktion auf schmerzhaftere Ereignisse eignet, kann in dieser Studie bestätigt werden. Die mittleren Serumcortisolkonzentrationen aller kastrierten Tiere sind eine halbe und eine Stunde nach dem Eingriff signifikant höher als die der unkastrierten Tiere. Da auch die unkastrierten Tiere Maßnahmen wie Fixation, Desinfektion und Blutentnahmen ausgesetzt waren, sind die höheren Cortisolwerte der kastrierten Tiere auf die Kastration zurückzuführen.

Bei Vereisung der Skrotalhaut konnte in dieser Studie kein signifikanter Einfluss von Dauer und Intensität der Chlorethanapplikation festgestellt werden. Bei Oberflächentemperaturen $< 0\text{ °C}$ (n=18) war die neuroendokrine Stressreaktion nicht größer als bei Temperaturen $\geq 0\text{ °C}$ (n=10). Möglicherweise ist dieses Ergebnis auch durch die relativ hohe Standardabweichung bedingt. Durch die Kryobehandlung weisen die fixierten, unkastrierten Tiere eine halbe Stunde nach Kastration signifikant höhere Serumcortisolkonzentrationen auf als nach alleiniger Fixation. Die Cortisolwerte der fixierten und kryobehandelten Tiere sind aber deutlich niedriger als die der kastrierten Tiere. Daraus kann geschlossen werden, dass die Vereisung der Skrotalregion mittels Chlorethanspray auf Temperaturen von bis zu -12 °C bei Saugferkeln Schmerzen und Stress auslöst, diese aber geringer sind als bei einer Kastration. Da durch die Vereisung der Skrotalregion vor Kastration keine Minderung der neuroendokrinen Stressreaktion im Vergleich zur Kastration ohne Schmerzausschaltung

bewirkt werden kann, kann in dieser Studie keine Indikation für eine Kryobehandlung der Skrotalregion mit Chlorethan gesehen werden. Die Wundheilung wurde durch die Kryobehandlung nicht signifikant beeinflusst.

Als Lokalanästhetikum kommt in der vorliegenden Studie Procain mit Sperrkörper zum Einsatz. Durch das Einträufeln des Lokalanästhetikums in den Wundspalt nach Absetzen der Hoden fällt die schmerzinduzierte Stressreaktion eine halbe Stunde nach der Kastration tendenziell geringer aus als bei betäubungslos kastrierten Ferkeln. Eine Stunde nach Kastration weisen die mit Lokalanästhetikum behandelten Ferkel aber höhere Cortisolwerte auf als die betäubungslos kastrierten Tiere. Dies wird auf die nachlassende Wirkung des Procains zurückgeführt. Demnach kann angenommen werden, dass durch das Einträufeln von Lokalanästhetikum in den Wundspalt kastrationsbedingte Schmerzen zunächst gelindert werden können. Da das Lokalanästhetikum aber erst nach Absetzen der Hoden appliziert wird, wird diese Methode der Forderung nach einer intraoperativen Schmerzausschaltung nicht gerecht. Überdies können Wundheilungsstörungen festgestellt werden, die wahrscheinlich durch den vermehrten Keimeintrag bei Einträufeln mittels Knopfkanüle bedingt sind.

Bei Tieren, denen das Lokalanästhetikum vor der Kastration intratestikulär appliziert wurde, konnten keine Wundheilungsstörungen beobachtet werden. Es konnte aber auch keine signifikante Minderung der schmerzbedingten Stressreaktion im Vergleich zu betäubungslos kastrierten Tieren erreicht werden.

Durch den kombinierten Einsatz von Vereisung, Fixation des Samenstranges mittels einer Klemme und Aufträufeln von Procain mit Sperrkörper auf den Samenstrangstumpf sind die Serumcortisolkonzentrationen der Ferkel eine Stunde nach Kastration signifikant höher als die der betäubungslos kastrierten Tiere. Durch diese Methode scheint den Tieren zusätzliche Schmerzen und Stress zugefügt zu werden. Als Alternative zur betäubungslosen Ferkelkastration kommt sie deshalb in dieser Form nicht in Betracht.

7. Zusammenfassung

Untersuchungen über den Einsatz topischer Kryobehandlung und Lokalanästhesie bei der Kastration männlicher Saugferkel

In vielen europäischen Ländern wird weiterhin nach einer geeigneten Alternative zur betäubungslosen Saugferkelkastration gesucht.

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Auswirkungen von Vereisung, Lokalanästhetikum (LA) und intraoperativer Fixation des Samenstranges auf den Kastrationsstress von Ferkeln zu eruieren. Basierend auf Messungen der Serumcortisolkonzentration wurde der Einfluss verschiedener Kastrationstechniken auf Schmerz und Stress untersucht. Zusätzlich wurde der Wundheilungsverlauf kontrolliert.

In die Studie wurden 221 männliche, drei bis fünf Tage alte Saugferkel aufgenommen. Sie wiesen ein ungestörtes Allgemeinbefinden und ein Geburtsgewicht von über 1000 g auf. Die Tiere wurden randomisiert einer der acht Versuchsgruppen zugeteilt.

Gruppe	Tierzahl	Eingriff
1	29	Handling (Fixation, keine Kastration)
2	29	Vereisung (Fixation, Vereisung, keine Kastration)
3	28	Kastration (Fixation, Kastration)
4	28	Vereisung+Kastration (Vereisung+Kastration)
5	28	Kastration+LA (Kastration, Einträufeln von LA in die Wunde)
6	29	Vereisung+Kastration+LA (Vereisung, Kastration, Einträufeln von LA in die Wunde)
7	29	LA i.t.+Kastration (intratestikuläre Applikation des LA, Kastration)
8	21	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA (Vereisung, Kastration, Fixation des Samenstranges mit einer Klemme, Aufträufeln des LA auf den fixierten Samenstrang)

Die Kryobehandlung des Skrotums wurde mit einem Kältespray (Chlorethan) aus 10 cm Entfernung durchgeführt, bis eine Hauttemperatur bis -12 °C erreicht war. Die Temperatur der Skrotalhaut wurde mit einem Oberflächentemperaturmessgerät bestimmt. Das Lokalanästhetikum (40 mg Procainhydrochlorid mit 0,05 mg Epinephrin) wurde bei Tieren der Gruppe 5 und 6 in die Wundhöhle eingeträufelt, bei Tieren der Gruppe 7 wurde es 10 Minuten vor der Kastration intratestikulär injiziert und bei Tieren der Gruppe 8 wurde es nach Absetzen der Hoden auf den mit einer Klemme fixierten Samenstrangstumpf aufgeträufelt.

Von jedem Ferkel wurde 30 Minuten vor sowie 30 Minuten, eine Stunde, vier Stunden und 24 Stunden nach der Kastration/der Fixation Blut gewonnen. Die Serumcortisolkonzentrationen

wurden bestimmt. Einen Tag und vier, sieben, 14 und 21 Tage nach der Kastration wurde die Wundheilung kontrolliert.

Ergebnisse der Cortisolwertbestimmungen zufolge hatten Fixation und Blutentnahme einen geringeren Effekt auf die neuroendokrine Stressreaktion der Ferkel als die Kastration. Durch keine der angewandten Kastrationsmethoden (Gruppen 4-8) war die neuroendokrine Stressreaktion nach Kastration signifikant niedriger als bei konventioneller Kastration (Gruppe 3).

Fixation und Vereisung führten eine halbe Stunde nach dem Eingriff zu signifikant höheren mittleren Cortisolwerten als Fixation allein (Gruppe 1 vs. Gruppe 2, $p \leq 0,05$). Durch die Vereisung der Skrotalhaut vor der Kastration war keine Minderung des Kastrationsstresses ersichtlich (Gruppe 3 vs. Gruppe 4, $p > 0,05$).

Wurde das Lokalanästhetikum in die Wunde eingeträufelt (Gruppe 5), waren die mittleren Cortisolkonzentrationen der Ferkel eine halbe Stunde nach Kastration tendenziell niedriger als bei betäubungsloser Kastration ($p \leq 0,1$). Vier Stunden nach der Kastration waren die Cortisolwerte der Tiere der Gruppen 5 und 6 signifikant höher als die der Tiere der Gruppe 3 ($p \leq 0,05$).

Bei präoperativer, intratestikulärer Applikation des Lokalanästhetikums (Gruppe 7) unterschieden sich die mittleren Cortisolwerte eine halbe und eine Stunde nach der Kastration nicht signifikant von denen der betäubungslos kastrierten Ferkel (Gruppe 3) ($p > 0,05$). Vier Stunden nach der Kastration war der Serumcortisolspiegel der Tiere der Gruppe 7 signifikant höher als der der Tiere der Gruppe 3 ($p \leq 0,05$).

Die Vereisung der Skrotalhaut kombiniert mit der Verwendung einer Klemme zur Fixation des Samenstranges (Gruppe 8) führte nach einer Stunde zu signifikant höheren mittleren Cortisolwerten im Vergleich zu denen der betäubungslos kastrierten Tiere (Gruppe 3) ($p \leq 0,05$).

Die Wundheilung wurde durch die alleinige Kryobehandlung oder die intratestikuläre Applikation des Lokalanästhetikums nicht beeinflusst (Gruppen 4 und 7). Bei Einträufeln des Lokalanästhetikums in den Wundspalt (Gruppen 5 und 6) oder Fixation des Samenstranges mit einer Klemme (Gruppe 8), wurde die Wundheilung im Vergleich zu Tieren, die betäubungslos kastriert wurden, gestört ($p \leq 0,05$).

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass Kryobehandlung und Lokalanästhetikum in dieser Form keine ausreichende Analgesie bei der Saugferkelkastration bewirken. Da das Ein- oder Aufträufeln des Lokalanästhetikums erst am Ende der Kastration erfolgt, ist mit dem Eintritt einer analgetischen Wirkung erst nach dem Eingriff zu rechnen. Wird die Skrotalhaut vereist und der Samenstrang fixiert, um das Lokalanästhetikum aufzuträufeln, ist die schmerzinduzierte neuroendokrine Stressreaktion sogar größer als bei konventionell kastrierten Ferkeln. Als Alternativen zur betäubungslosen Saugferkelkastration kommen diese Methoden in dieser Form deshalb nicht in Betracht.

8. Summary

Investigations about the use of topical vapocoolant spray and local anesthetics for the castration of male suckling piglets

In many European countries, the search for a reasonable alternative to piglet castration without anesthesia is ongoing.

The intention of the present study was to evaluate the use of topical vapocoolant, local anesthetics (LA) and fixation of the spermatic cord with a clamp during piglet castration. Based on serum cortisol measurements, the impact of various castration-methods on pain and stress was examined. Additionally, the wound healing process was assessed.

A total of 221 male suckling piglets, three to five days old, with a good general condition and a birth weight over 1000 g were randomly assigned to eight different treatments and groups.

Group	Number of animals	Treatment
1	29	Handling (fixation, no castration)
2	29	Cryogen spray (fixation, cryogen spray, no castration)
3	28	Castration (fixation, castration)
4	28	Cryogen spray+Castration (cryogen spray, castration)
5	28	Castration+LA (castration, LA dropped into the wound)
6	29	Cryogen spray+Castration+LA (cryogen spray, castration, LA dropped into the wound)
7	29	LA i.t.+Castration (LA intratesticular (i.t.), castration)
8	21	Cryogen spray+castration with clamp+LA (cryogen spray, castration, fixation of the spermatic cord with a clamp, LA dropped on the fixed cord)

The cryogen spray (ethyl chloride) was applied from a distance of 10 cm to the scrotum until a skin temperature up to -12 °C was achieved. Temperature of the scrotal skin was measured by a pyrometer. The local anesthetic (40 mg procainehydrochloride with 0.05 mg epinephrine) was either dropped into the wound after removal of the testes (Group 5 and 6), injected into the testes 10 minutes prior to castration (Group 7) or dropped on the spermatic cord after removal of the testes (Group 8).

Blood samples taken from the cranial vena cava were collected from each piglet 30 minutes before and 30 minutes, one hour, four hours and one day after castration/fixation. The concentration of cortisol in the serum was measured. Wound healing was evaluated one day, four days, seven days, 14 days and 21 days after castration.

The results of the cortisol measurements indicated that handling has minor impact on the neuroendocrine stress response compared to castration (Group 1 vs. Group 3, $p \leq 0.05$). None

of the examined castration methods (Groups 4-8) induced a significant minor stress reaction than the conventional method of castration (Group 3).

Fixation and application of cryogen spray caused half an hour after treatment significantly higher average cortisol concentrations than fixation alone. (Group 1 vs. Group 2, $p \leq 0.05$). A minimizing effect on castration induced stress using a cryogen spray prior to castration was not evident (Group 3 vs. Group 4, $p > 0.05$).

After dropping a local anesthetic into the wound (Group 5), the average cortisol levels were by trend lower than those of Group 3 half an hour after castration ($p \leq 0.1$). Four hours after castration, the average cortisol concentration of Group 5 and 6 were significantly higher than that of Group 3 ($p \leq 0.05$). The preoperative, intratesticular application of the local anesthetic (Group 7) had no significant effect on pain induced stress half an hour and one hour after castration compared to the average cortisol concentration of Group 3 ($p > 0.05$). Four hours after castration, the cortisol levels of Group 7 were significantly higher than that of Group 3 ($p \leq 0.05$).

The application of cryogen spray combined with the use of a clamp to fix the spermatic cord (Group 8) lead to a significant increase in serum cortisol concentration one hour after castration compared with serum cortisol concentration of Group 3 ($p \leq 0.05$).

The wound healing was not affected by using the cryogen spray or intratesticular application of the local anesthetic. By dropping local anesthetic into the wound and fixing the spermatic cord with a clamp, the wound healing was significantly impaired ($p \leq 0,05$).

Results indicate that neither cryogen spray nor local anesthetics as applied in this study cause an appropriate analgesia for piglet castration. Since the local anesthetic is dropped into the wound at the end of castration, a potentially analgesic effect occurs after castration. By using the cryogen spray and fixing the spermatic cord with a clamp to drop the local anesthetic on it, the pain induced stress reaction is even higher than in conventionally castrated piglets. Therefore, those techniques are not feasible as alternatives to conventional piglet castration.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Abferkelbucht im Versuchsbetrieb	37
Abbildung 2: Vereisung eines Ferkels und Messung der Oberflächentemperatur.....	39
Abbildung 3: Männliches Ferkel nach Vereisung der Skrotalregion.....	40
Abbildung 4: Einträufeln des Lokalanästhetikums in den Wundspalt.....	40
Abbildung 5: Aufträufeln des Lokalanästhetikums auf den mit einer Klemme fixierten Samenstrang	41
Abbildung 6: Blutentnahme aus der <i>Vena cava cranialis</i>	43
Abbildung 7: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere aus Gruppe Vereisung(2), deren Skrotalhaut verschieden stark vereist wurde sowie deren Signifikanzen	50
Abbildung 8: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) der acht Versuchsgruppen zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten.....	51
Abbildung 9: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) der Tiere der Gruppen 3-8	54
Abbildung 10: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Handling(1) und Vereisung(2) mit Signifikanzen.....	56
Abbildung 11: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Kastration(3) und Vereisung+Kastration(4).....	57
Abbildung 12: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Kastration+LA(5) und Vereisung+Kastration+LA(6) sowie deren Signifikanzen	58
Abbildung 13: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der mit Lokalanästhetikum aber ohne Klemme kastrierten Tiere der Gruppen 5, 6 und 7 im Vergleich mit den Tieren der Gruppe Kastration(3) sowie deren Signifikanzen.....	59
Abbildung 14: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Kastration+LA(5) und LA i.t.+Kastration(7)	61
Abbildung 15: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l) und Standardabweichungen der Tiere der Gruppen Kastration(3), Vereisung+Kastration+LA(6) und Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8) sowie deren Signifikanzen.....	62
Abbildung 16: Abweichungen der mittleren Cortisolkonzentrationen vom Basalwert; Signifikante Abweichungen sind gekennzeichnet.....	64
Abbildung 17: Darstellung des Wundheilungsverlaufes aller kastrierten Tiere (Gruppen 3-8) bis 21 Tage nach der Kastration anhand von Boxplots.....	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einige kryogene Substanzen und ihr Siedepunkt (modifiziert nach White et al., 1999).....	25
Tabelle 2: Gruppennummer, Anzahl der Tiere pro Gruppe und Vorgehensweise in den einzelnen Versuchsgruppen.....	39
Tabelle 3: Zeitlicher Versuchsablauf	42
Tabelle 4: Beurteilungsschema der Wundheilung	47
Tabelle 5: Anzahl der statistisch ausgewerteten Cortisolproben pro Gruppe	49
Tabelle 6: Tierzahlen, mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l), Standardabweichungen, sowie Minima und Maxima der verschieden stark vereisten Teilgruppen der Gruppe 2.....	49
Tabelle 7: Mittlere Serumcortisolkonzentrationen (nmol/l), Standardabweichungen, Minima und Maxima der acht Gruppen zu den verschiedenen Messzeitpunkten	52
Tabelle 8: p-Werte der Vergleiche der mittleren Cortisolkonzentration von Gruppe Kastration(3) mit den übrigen Kastrationsgruppen (4-8).....	54
Tabelle 9: Abweichungen der mittleren Cortisolwerte vom Basalwert: Mittelwerte (nmol/l), Standardabweichung sowie Minima und Maxima.....	65
Tabelle 10: p-Werte der Vergleiche der Abweichungen vom Basalwert aller acht Versuchsgruppen	67
Tabelle 11: Überblick über die Zahl der in den Versuch aufgenommenen und ausgewerteten Tiere an den Tagen 0 (Kastration) bis 21	68
Tabelle 12: Signifikanzen der Vergleiche der Wundheilung bei den Tieren der Gruppe 3 mit denen der Gruppen 4-8	69
Tabelle 13: Signifikanzen der An- und Abstiege der mittleren Cortisolkonzentration zwischen den Blutentnahmen innerhalb der einzelnen Gruppen	108
Tabelle 14: Signifikanzen der Vergleiche der mittleren Cortisolkonzentrationen zwischen bestimmten Gruppen zu den fünf Blutentnahmezeitpunkten.....	108
Tabelle 15: Signifikanzen der Abweichungen der mittleren Cortisolkonzentration vom Basalwert innerhalb der Gruppen.....	108
Tabelle 16: Perzentile Q. 25, Q. 50 und Q. 75, Mittelwerte und Standardabweichungen des Wundscore der kastrierten Tiere der Gruppe 3-8.....	109

Literaturverzeichnis

Gesetze

2002

Gesetz über Medizinprodukte (MPG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. August 2002 (BGBl. I S. 3146), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2326).

2005

Schweizer Tierschutzgesetz (TSchG) vom 16. Dezember 2005, zuletzt geändert am 12. April 2006.
SR 455.

Gesetz über den Verkehr mit Arzneimitteln (AMG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. Dezember 2005 (BGBl. I S. 3394), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. September 2009 (BGBl. I S. 3172).

2006

Tierschutzgesetz (TierSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313) zuletzt geändert durch das Gesetz vom 15. Juli 2009 (BGBl. I S. 1950).

2007

Verordnung (EG) 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91.

Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 189 vom 20. Juli 2007.

Geändert durch: Verordnung (EG) Nr. 967/2008 des Rates vom 29. September 2008.

Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 264 vom 3. Oktober 2008.

2008

Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle.

Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 250 vom 18. September 2008.

Schweizer Tierschutzverordnung (TSchV) vom 23. April 2008, zuletzt geändert am 14. Januar 2009.

SR 455.1.

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

Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 047 vom 18. Februar 2009.

AHMAD, N., D.B. GOWER (1968):

The biosynthesis of some androst-16-enes from C21 and C19 steroids in boar testicular and adrenal tissue.
Biochem. J. 108: 233-241.

ALDAL, I., Ø. ANDRESEN, A.K. EGELI, J.-E. HAUGEN, A. GRØDUM, O. FJETLAND, J.L.H. EIKAAS (2005):

Levels of androstenone and skatole and the occurrence of boar taint in fat from young boars.
Livest. Prod. Sci. 95: 121-129.

AMPUERO, S., G. BEE (2006):

The potential to detect boar tainted carcasses by using an electronic nose based on mass spectrometry.
Acta Vet. Scand. 48: P1.

ANAND, K.J.S., P.R. HICKEY (1987):

Pain and its effects in the human neonate and fetus.
N. Engl. J. Med. 317: 1321-1329.

ANAND, K.J.S., V. COSKUN, K.V. THRIVIKRAMAN, C.B. NEMEREOFF, P.M. PLOTSKY (1999):

Long-term behavioural effects of repetitive pain in neonatal rat pups.
Physiol. Behav. 66: 627-637.

ANDRESEN, Ø. (2006):

Boar taint related compounds: Androstenone/skatole/other substances.
Acta Vet. Scand. 48: S5.

ANIMAL SCIENCE GROUP (ASG) (2007):

Castration under anaesthesia and/or analgesia in commercial pig production.
Report 85, Wageningen UR.

BABOL, J., E.J. SQUIRES, K. LUNDSTRÖM (1999):

Relationship between metabolism of androstenone and skatole in intact male pigs.
J. Anim. Sci. 77: 84-92.

BABOL, J., G. ZAMARATSKAIA, R.K. JUNEJA, K. LUNDSTRÖM (2004):

The effect of age on distribution of skatole and indole levels in entire male pigs in four breeds: Yorkshire, Landrace, Haire and Duroc.
Meat Sci. 67: 351-358.

BARZ, A. (2009):

Verabreichung eines NSAID (Meloxicam) kombiniert mit Eisendextran bei der Kastration männlicher Saugferkel.
Vet. med. Diss. München

BAuA (2004):

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).

Abgerufen am 13. September 2009 von:

http://www.baua.de/nn_5846/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/905/905-chlorethan.pdf

BAuA (2008):

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).

Abgerufen am 13. September 2009 von:

http://www.baua.de/nn_5846/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/pdf/900/900-chlorethan.pdf

BEEK, V. (2008):

Europe moves away from conventional castration.

Pig Progress 24: 12-13.

BIEL, M. (2005):

Lokalanästhetika.

In: K. Aktories, U. Förstermann, F.B. Hofmann und K. Starke (Hrsg.).

Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie.

Urban und Fischer Verlag, München, 9. Auflage: 255-262.

BJÖRKLUND, L., L.A. BOYLE (2006):

Effects of finishing boars in mixed and single sex groups and split marketing on pig welfare.

Acta Vet. Scand. 48: P2.

BONNEAU, M. (2006):

Factors affecting the level of androstenone.

Acta Vet. Scand. 48: S7.

BORELL, von E., M. OLIVER, B. FREDRIKSEN, S. EDWARDS, M. BONNEAU (2008):

Standpunkte, Praktiken und Kenntnisstand zur Ferkelkastration in Europa (PIGCAS) - Projektziele und erste Ergebnisse.

J. Verbr. Lebensm. 3: 216-220.

BREITINGER, I. (2009):

Einsatz von Brotizolam bei der Kastration männlicher Saugferkel.

Vet. med. Diss. München.

BREMNER, E.A., J.D. MAINLAND, R.M. KHAN, N. SOBEL (2003):

The prevalence of androstenone anosmia.

Chem. Senses 28: 423-432.

BROUSSARD, L.A., A.K. BROUSSARD, T.S. PITTMAN, D.K. LIRETTE (2000):

Death due to inhalation of ethyl chloride.

J. Forensic Sci. 45: 223-225.

CARROLL, J.A., E.L. BERG, T. STRAUCH, M.P. ROBERTS, H.G. KATTESH (2006):

Hormonal profiles, behavioural exposes, and short-term growth performance after castration of pigs at three, six, nine, or twelve days of age.
J. Anim. Sci. 84: 1271-1278.

CLAUDI-MAGNUSSEN, C. (2006):

The consumers` view/reaction.
Acta Vet. Scand. 48: S4.

COHEN REIS, E., R. HOLUBKOV (1997):

Vapocoolant spray is equally effective as EMLA cream in reducing immunization pain in school-aged children.
Pediatrics 100: e5.

COSTELLO, M., M. RAMUNDO, N.C. CHRISTOPHER, K.R. POWELL (2006):

Ethyl vinyl chloride vapocoolant spray failed to decrease pain associated with intravenous cannulation in children.
Clin. Pediatr. (Phila.) 45: 628-632.

CRECELIUS, C., L. ROUH FAR, O. BEIRNE (1999):

Venous cannulation and topical ethyl chloride in patients receiving nitrous oxide.
Anesth. Prog. 46: 100-103.

CRICHTON, N. (2001):

Information point: Visual Analogue Scale.
J. Clin. Nurs. 10: 706.

CRIST, M. (2008):

Physical medicine and its role in recovery.
In: G.L. Carroll (Hrsg.).
Small animal anesthesia.
Blackwell Publishing, Oxford, UK, 1. Auflage: 239-251.

CRONIN, G.M., F. DUNSHEA, K.L. BUTLER, I. MCCAULEY, J.L. BARNETT, P.H. HEMSWORTH (2003):

The effects of immuno- and surgical-castration on the behaviour and consequently growth of group-housed, male finisher pigs.
Appl. Anim. Sci. 81: 111-126.

DESLANDES, B., C. GARIÉPY, A. HOUDE (2001):

Review of microbial and biochemical effects of skatole on animal production.
Livestock Prod. Sci. 72: 193-200.

DZUBOW, L.M. (1985):

Histologic and temperature alterations induced by skin refrigerants.
J. Am. Acad. Dermatol. 12: 796-810.

ECKERT, R., W. BURGGREN, K. FRENCH, D. RANDALL (2002):

Chemische Botenstoffe und Regulatoren.

In: R. Eckert, W. Burggren, K. French, und D. Randall.

Tierphysiologie.

Thieme Verlag, Stuttgart, 4. Auflage: 328-381.

EIJCK, I., C. VAN DER PEET-SCHWERING, M. KIEZEBRINK, A. VINK (2007):

Effect of castration of organic swine with anesthesia on the veterinary cost and physical work load of the pig farmer.

Tijdschr. Diergeneeskd. 132: 476-479.

EKKEL, E.D., S.J. DIELEMANN, W.G.P. SCHOUTEN, A. PORTELA, G. CORNÉLISSEN, M.J.M. TIELEN, F. HALBER (1996):

The circadian rhythm of cortisol in the saliva of young pigs.

Physiol. Behav. 60: 985-989.

ERHARDT, W., J. HENKE (2004):

Versuchstiere.

In: W. Erhardt, J. Henke und J. Haberstroh (Hrsg.).

Anästhesie und Analgesie beim Klein- und Heimtier.

Schattauer Verlag, Stuttgart, 1. Auflage: 691-840.

ERHARDT, W., J. HENKE, R. KROKER (2004):

Pharmaka im Rahmen der Anästhesie und der perioperativen Schmerzlinderung.

In: W. Erhardt, J. Henke und J. Haberstroh (Hrsg.).

Anästhesie und Analgesie beim Heim- und Heimtier.

Schattauer Verlag, Stuttgart, 1. Auflage: 15-138.

ERHARDT, W., C. LENDL (2004):

Pädiatrische Patienten.

In: W. Erhardt, J. Henke und J. Haberstroh (Hrsg.).

Anästhesie und Analgesie beim Heim- und Kleintier.

Schattauer Verlag, Stuttgart, 1. Auflage: 411-421.

FARION, K.J., K.L. SPLINTER, K. NEWHOOK, I. GABOURY, W.M. SPLINTER (2008):

The effect of vapocoolant spray on pain due to intravenous cannulation in children: a randomized controlled trial.

CMAJ 179: 31-36.

FETTINGER, V. (2008):

Auswirkungen einer Kryoanalgesie in Verbindung mit Lidocain und Ketoprofen auf den Kastrationsstress von Saugferkeln.

Diplomarbeit, Veterinärmedizinische Universität Wien.

FINCH, C.K., B.L. LOBO (2005):

Acute inhalant-induced neurotoxicity with delayed recovery.

Ann. Pharmacother. 39: 169-172.

FONT I FURNOLS, M., M. GISPERT, A. DIESTRE, M.A. OLIVER (2003):
Acceptability of boar meat by consumers depending on their age, gender, culinary habits, and sensitivity and appreciation of androstenone odour.
Meat Sci. 64: 433-440.

FONT I FURNOLS, M., M. GISPERT, L. GUERRERO, A. VELARDE, J. TIBAU, J. SOLER, M. HORTÓS, J.A. GARCÍA-REGUEIRO, J. PÉRES, P. SUÁREZ, M.A. OLIVER (2008):
Consumers` sensory acceptability of pork from immunocastrated male pigs.
Meat Sci. 80: 1013-1018.

FRANCK, L.S., C.S. GREENBERG, B. STEVENS (2000):
Pain assessment in infants and children.
Pediatr. Clin. North Am. 47: 487-512.

FREDRIKSEN, B., O. NAFSTAD (2006):
Surveyed attitudes, perceptions and practices in Norway regarding the use of local anaesthesia in piglet castration.
Res. Vet. Sci. 81: 293-295.

FREDRIKSEN, B., B.M. LIUM, C.H. MARKA, B.T. HEIER, E. DAHL, J.U. CHOINSKI, O. NAFSTAD (2006):
Entire male pigs in a farrow-to-finish system. Effects on androstenone and skatole.
Livest. Sci. 102: 146-154.

FREDRIKSEN, B., M. FONT I FURNOLS, K. LUNDSTRÖM, A. PRUNIER, F. TUYTTENS, W. MIGDAL, M. BONNEAU (2008):
Practice on castration of piglets in Europe.
Proc. 20th Int. Pig Vet. Soc. Congr. 2008, Durban, Südafrika, 1: 272.

GALLAGHER, N.L., L.R. GILES, P.C. WYNN (2002):
The development of a circadian pattern of salivary cortisol secretion in the neonatal pig.
Biol. Neonate 81: 113-118.

GASSE, H. (2004):
Männliche Geschlechtsorgane.
In: R. Nickel, A. Schummer, und E. Seiferle (Hrsg.).
Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere; Band II, Eingeweide.
Parey Verlag, Stuttgart, 9. Auflage: 300-420.

GASTEINER, J., E. OFNER-SCHRÖCK, T. GUGGENBERGER, I. HUBMER, E. SCHACHNER, A. STEINWIDDER, W. HAGMÜLLER, R. GRUBER, E. MÖSTL (2008):
Eine neuartige Methode zur Schmerzreduktion bei der chirurgischen Ferkelkastration.
In: Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein 2008, 29. Mai 2008.
Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein 2008: 9-17.

- GERRITZEN, M.A., M. KLUIVER-POODT, H.G.M. REIMERT, V. HINDLE, E. LAMBOOIJ (2008):**
Castration of piglets under CO2 anaesthesia.
Animal 2: 1666-1673.
- GESELLSCHAFT SCHWEIZER TIERÄRZTINNEN UND TIERÄRZTE (2008):**
Lobbying und Kampagnen.
Jahresbericht 2008: 15-17.
- GIBIS, M., C. HILMES, A. FISCHER (1998):**
Skatolbedingte Geruchs- und Geschmacksabweichungen bei Schweinefleisch.
Fleischwirtschaft 78: 727-730.
- GIERSING, M., K. LUNDSTRÖM, A. ANDERSSON (2000):**
Social effects and boar taint: significance for production of slaughter boars (Sus scrofa).
J. Anim. Sci. 78: 296-305.
- GIFFIN, B. J., J.R.D. ALLISON, S. MARTIN, P. WARD, A. TSCHOPP (2008):**
Consumer acceptance of the use of vaccination to control boar taint.
Proc. 20th Int. Pig Vet. Soc. Congr. 2008, Durban, Südafrika, 1: 267.
- GUTZWILLER, A. (2003):**
Kastration von Ferkeln unter Lokalanästhesie.
Agrarforschung 10: 10-13.
- HAGA, H.A., B. RANHEIM (2005):**
Castration of piglets: the analgesic effects of intratesticular and intrafunicular lidocaine injection.
Vet. Anaesth. Analg. 32: 1-9.
- HAIMEL, M. (2008):**
Untersuchungen über eine alternative Methode zur Schmerzkontrolle durch Kryoanalgesie und Lokalanästhesie bei der chirurgischen Kastration von Saugferkeln.
Diplomarbeit, Veterinärmedizinische Universität Wien.
- HANSEN, H. (2009):**
Ferkelkastration - Armes Schwein.
Öko Test 5: 24-31.
- HARTSTEIN, B.H., J.D. BARRY (2008):**
Mitigation of pain during intravenous catheter placement using topical skin coolant in the emergency department.
Emerg. Med. J. 25: 257-261.
- HAUGEN, J.E. (2006):**
The use of chemical sensor array technology, the electronic nose, for the detection of boar taint.
Acta Vet. Scand. 48: S15.

HAY, M., A. VULIN, S. GÉNIN, P. SALES, A. PRUNIER (2003):

Assessment of pain induced by castration in piglets: behavioural and physiological responses over the subsequent 5 days.
Appl. Anim. Behav. Sci. 82: 201-218.

HEINRITZI, K. (2006a):

Anästhesie.
In: K. Heinritzi, H.R. Gindele, G. Reiner und U. Schnurrbusch (Hrsg.).
Schweinekrankheiten.
Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 1. Auflage: 48-50.

HEINRITZI, K. (2006b):

Zootechnische Maßnahmen, Saugferkelkastration.
In: K. Heinritzi, H.R. Gindele, G. Reiner und U. Schnurrbusch (Hrsg.).
Schweinekrankheiten.
Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1. Auflage: 42-43.

HENKE, J., W. ERHARDT (2001a):

Das Problem Schmerz.
In: J. Henke und W. Erhardt.
Schmerzmanagement bei Klein- und Heimtieren.
Enke Verlag, Stuttgart, 1. Auflage: 1-6.

HENKE, J., W. ERHARDT (2001b):

Warum sollen Schmerzen gelindert werden?
In: J. Henke und W. Erhardt.
Schmerzmanagement bei Klein- und Heimtieren.
Enke Verlag, Stuttgart, 1. Auflage: 7-11.

HIJAZI, R., D. TAYLOR, J. RICHARDSON (2009):

Effect of topical alkane vapocoolant spray on pain with intravenous cannulation in patients emergency departments: randomised double blind placebo controlled trial.
BMJ 2009; 338:b215doi:101136/bmj.b215.

HÖFKEN, U., U. KURTH, C. BREHM, B. HÖHN, R. KÜNAST, F. KUHN (2008):

Betäubungslose Kastration von Ferkeln beenden - Alternativen fördern.
Drucksache 16/10615, 15.10.2008.

HOLLMANN, M.W., M. DURIEUX (2000):

Local anesthetics and the inflammatory response. A new therapeutic indication?
Anesthesiology 93: 858-875.

HORN, T., G. MARX, E. VON BORELL (1999):

Verhalten von Ferkeln während der Kastration mit und ohne Lokalanästhesie.
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 106: 271-274.

HUBER-EICHER, B., P. SPRING (2008):

Attitudes of Swiss consumers towards meat from entire or immunocastrated boars: a representative survey.
Res. Vet. Sci. 85: 625-627.

- HUCKLENBROICH, C. (2007):**
Der Schmerz der Schweine.
Die Zeit, 16. August 2007.
- HUCKLENBROICH, C. (2008):**
Die quiecken nicht nur, die leiden echt.
Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 11. Mai 2008.
- JEONG, J.Y., J.H. CHOI, D.J. HAN, D.H. LEE, D. HENNESSY, C.J. KIM (2008):**
The effects of immunocastration on meat quality and sensory properties of pork loins.
Proc. 20th Int. Pig Vet. Soc. Congr. 2008, Durban, Südafrika, 1: 269.
- JOHNSON, L.A., D. RATH, J.M. VAZQUEZ, W.M.C. MAXWELL, J.R. DOBRINSKY (2005):**
Preselection of sex of offspring in swine for production: current status of the process and its application.
Theriogenology 63: 615-624.
- KOHLER, I., Y. MOENS, A. BUSATO, J. BLUM, U. SCHATZMANN (1998):**
Inhalation anaesthesia for the castration of piglets: CO₂ compared to halothane.
Zentralbl. Veterinärmed. A 45: 625-633.
- KOLB, E., L. BRUNNBERG (2000):**
Ethylchlorid.
In: E. Wiesner und R. Ribbeck (Hrsg.).
Lexikon der Veterinärmedizin.
Enke im Hippokrates Verlag, Stuttgart, 4. Auflage: 450.
- LACKNER, A. (2003):**
Untersuchungen zur Schmerzhaftigkeit und der Wundheilung bei der Kastration männlicher Ferkel zu unterschiedlichen Kastrationszeitpunkten.
Vet. med. Diss. München.
- LACOUR, M., C. LE COULTRE (1991):**
Spray-induced frostbite in a child: a new hazard with novel aerosol propellants.
Pediatr. Dermatol. 8: 207-209.
- LAHRMANN, K.H., M. KMIEC, R. STECHER (2006):**
Die Saugferkelkastration mit Ketamin/Azaperon-Allgemeinanästhesie: tierschutzkonform, praktikabel, aber wirtschaftlich?
Prakt. Tierarzt 87: 802-809.
- LANGBEIN, T., H. SONNTAG, D. TRAPP, A. HOFFMANN, W. MALMS, E.-P. RÖTH, V. MÖRS, R. ZELLNER (1999):**
Volatile anaesthetics and the atmosphere: atmospheric lifetimes and atmospheric effects of halothane, enflurane, isoflurane, desflurane and sevoflurane.
Br. J. Anaesth. 82: 66-73.

LANGHOFF, R. (2008):

Untersuchungen über den Einsatz von Schmerzmitteln zur Reduktion kastrationsbedingter Schmerzen beim Saugferkel.
Vet. med. Diss. München.

LEIDIG, M.S., B. HERTRAMPF, K. FAILING, A. SCHUMANN, G. REINER (2009):

Pain and discomfort in male piglets during surgical castration with and without local anesthesia as determined by vocalisation and defence behaviour.
J. Anim. Behav. Sci. 116: 174-178.

LENNERNÄS, H., S. SKRTIC, G. JOHANNSON (2008):

Replacement therapy of oral hydrocortisone in adrenal insufficiency: the influence of gastrointestinal factors.
Expert Opin. Drug Metab. Toxicol. 4: 749-758.

LITZKE, L.-F., M. KRAMER, O. DIETZ (2004):

Wunden, Wundbehandlung, Wundheilung.
In: O. Dietz und L.-F. Litzke (Hrsg.).
Lehrbuch der Allgemeinen Chirurgie für Tiermediziner.
Enke Verlag, Stuttgart, 6. Auflage: 1-36.

LÖSCHER, W. (2006a):

Lokalanästhetika.
In: W. Löscher, F.R. Ungemach und R. Kroker (Hrsg.).
Pharmakotherapie bei Haus- und Nutztieren.
Parey Verlag, Stuttgart, 7. Auflage: 125-131.

LÖSCHER, W. (2006b):

Pharmaka mit Wirkung auf das Zentralnervensystem.
In: W. Löscher, F.R. Ungemach und R. Kroker (Hrsg.).
Pharmakotherapie bei Haus- und Nutztieren.
Parey Verlag, Stuttgart, 7. Auflage: 63-124.

LUNDEHEIM, N., A.M. DALIN, A.S. HANSSON STEHN, A. MADEJ (2004):

Cortisol level in saliva and plasma of growing pigs.
Proc. 18th Int. Pig Vet. Soc. Congr. 2004, Hamburg, Germany, 1: 277.

LUNDSTRÖM, K., G. ZAMARATSKAIA (2006):

Moving towards taint-free pork-alternatives to surgical castration.
Acta Vet. Scand. 48: S1.

MARTENS, A. (2004):

Spezielle chirurgische Techniken (Laser- und Kryochirurgie).
In: M. Kramer (Hrsg.).
Kompendium der Allgemeinen Veterinärchirurgie.
Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover, 1. Auflage: 320-325.

MARTINEZ, E.A., J.M. VAZQUEZ, J. ROCA, X. LUCAS, M.A. GIL, I. PARRILLA, J.L. VAZQUEZ, B.N. DAY (2001):

Successful non-surgical deep intrauterine insemination with small numbers of spermatozoa in sows.
Reproduction 122: 289-296.

MARX, D., B. HAECKER (1981):

Vergleichende Cortisol- und Triglyceridbestimmungen im Blut früh abgesetzter und konventionell gehaltener Ferkel als Beitrag zum fraglichen Streß während moderner Aufzuchtverfahren.
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 94: 8-13.

MARX, G., T. HORN, J. THIELEBEIN, B. KNUBEL, E. VON BORELL (2003):

Analysis of pain-related vocalization in young pigs.
Journal of Sound and Vibration 266: 687-693.

MATTHEWS, K.R., D.B. HOMER, P. PUNTER, M.-P. BÉAGUE, M. GISPERT, A.J. KEMPSTER, H. AGERHEM, C. CLAUDI-MAGNUSSEN, K. FISCHER, F. SIRET, H. LEASK, M. FONT I FURNOLS, M. BONNEAU (2000):

An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: III. Consumer survey in seven European countries.
Meat Sci. 54: 271-283.

MAWHORTER, S., L. DAUGHERTY, A. FORD, R. HUGHES, D. METZGER, K. EASLEY (2004):

Topical vapocoolant quickly and effectively reduces vaccine-associated pain: results of a randomized, single-blinded, placebo-controlled study.
J. Travel Med. 11: 267-272.

MCGLONE, J.J., J.M. HELLMAN (1988):

Local and general anesthetic effects on behaviour and performance of two- and seven-week-old castrated and uncastrated piglets.
J. Anim. Sci. 66: 3049-3058.

MELLOR, D.J., K.J. STAFFORD (2004):

Physiological and behavioural assessment of pain in ruminants: principles and caveats.
ATLA-Nottingham 32: 267-271.

MELZACK, R. (1975):

The McGill pain questionnaire: major properties and scoring methods.
Pain 1: 277-299.

MEURER, D., S. WOLF (2007):

Exogene Krankheitsursachen.
In: D. Meurer und S. Wolf.
Allgemeine Pathologie.
Schattauer Verlag, Stuttgart, 2. Auflage: 11-40.

MEUSER, W. (2006):

Das Schmerzempfinden von Tieren und die Einschätzung durch den Menschen.
Vet. med. Diss. Hannover.

MICLAT-SONACO, R., F. BONTO, J. SINGAYAN-FAJARDO, R. NEYRA, M. LINATOC, M. QUIZON (2008):

Improvac[®] immunized male pigs compared to surgical castrates: production performance, control of boar taint and carcass quality.
Proc. 20th Int. Pig Vet. Soc. Congr. 2008, Durban, Südafrika, 1: 268.

MOLONY, V., J.E. KENT (1997):

Assessment of acute pain in farm animals using behavioral and physiological measurements.
J. Anim. Sci. 75: 266-272.

MORTON, D.B., P.H.M. GRIFFITHS (1985):

Guidelines on the recognition of pain, distress and discomfort in experimental animals and an hypothesis for assessment.
Vet. Rec. 116: 431-436.

MÖSTL, E. (2005):

Spezielle Endokrinologie.
In: W. von Engelhart und G. Breves (Hrsg.).
Physiologie der Haussäugetiere.
Enke Verlag, Stuttgart, 2. Auflage: 477-494.

MÜHLBAUER, I.C. (2009):

Untersuchungen zur Belastung bei der Kastration von Saugferkeln unter CO₂-Narkose.
Vet. med. Diss. München.

MÜHLBAUER, I.C., W. OTTEN, W. LÜPPING, A. PALZER, S. ZÖLS, S. ELICKER, M. RITZMANN, K. HEINRITZI (2009):

Untersuchungen zur CO₂-Narkose als eine Alternative zur betäubungslosen Kastration von Saugferkeln.
Prakt. Tierarzt 90: 460-464.

NELSON, R., G. TURNWALD, M. WILLARD (2006):

Endokrine und metabolische Störungen.
In: M.D. Willard und H. Tvedten (Hrsg.).
Labordiagnostik in der Kleintierpraxis.
Urban und Fischer Verlag, München, 1. Auflage: 201-254.

NICKEL, R., A. SCHUMMER, E. SEIFERLE (2004):

Peripheres Nervensystem.
In: G. Böhme (Hrsg.).
Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere; Band IV, Nervensystem, Sinnesorgane, Endokrine Drüsen.
Parey Verlag, Stuttgart, 4. Auflage: 228-285.

NOBLE, D.A. (1979):

Another hazard of pierced ears.
Br. Med. J. 1: 125.

NORDIN, C., M. ROSENQVIST, C. HOLLSTEDT (1988):

Sniffing of ethyl chloride - an uncommon form of abuse with serious mental and neurological symptoms.
Int. J. Addict. 6: 623-627.

PATTERSON, R. (1968):

5-alpha-Andros-16-ene-3-one: Compound responsible for taint in boar fat.
J. Sci. Food. Agric. 19: 31-38.

PIGCAS, EU-PROJEKT (2008):

WP3: Evaluation of research and other information on castration in pigs.
März 2008.

PLONAIT, H. (2004):

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

PRÉLAUD, P., D. ROSENBERG, P. DE FORNEL (2005):

Untersuchung der Nebennierenfunktion.
In: P. Prélaud, D. Rosenberg und P. de Fornell.
Endokrinologische Diagnostik in der Kleintierpraxis.
Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover, 1. Ausgabe: 47-86.

PROJEKT PROSCHWEIN (2009):

Alternative Methoden zur konventionellen Ferkelkastration ohne
Schmerzausschaltung.
Schlussbericht 2008.
Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft, Zollikofen, 23.06.2009.

**PRUNIER, A., G. BATAILLE, M.C. MEUNIER-SALAÜN, A. BREGEON,
Y. RUGRAFF (2001):**

Influence of tail docking, with or without a cold analgesic spray, on the behaviour,
performance and physiology of piglets.
Journées Rech. Porcine en France 33: 313-318.

PRUNIER, A., A.M. MOUNIER, M. HAY (2005):

Effects of castration, tooth resection, or tail docking on plasma metabolites and stress
hormones in young pigs.
J. Anim. Sci. 83: 216-222.

RADKE, J., P. FABIAN (1991):

The ozone layer and its modification by N₂O and inhalation anaesthetics.
Anaesthesist. 40: 429-433.

RAMSOOK, C., C.A. KOZINETZ, D. MORO-SUTHERLAND (2001):

Efficacy of ethyl chloride as a local anesthetic for venipuncture and intravenous
cannula insertion in a pediatric emergency department.
Pediatr. Emerg. Care 17: 341-343.

RANHEIM, B., H.A. HAGA, K. INGEBRIGTSEN (2005):

Distribution of radioactive lidocaine injected into the testes in piglets.
J. vet. Pharmacol. Therap. 28: 481-483.

RATH, D., S. RUIZ, S., B. SIEG (2003):

Birth of female piglets following intrauterine insemination of a sow using flow cytometrically sexed boar semen.
Vet. Rec. 152: 400-401.

RITTERSHAUS, D. (2009):

Topische Anästhesieverfahren zur Schmerzreduktion bei der Saugferkelkastration.
Vet. med. Diss. Hannover.

ROBINSON, P.A., S. CARR, S. PEARSON, C. FRAMPTON (2007):

Lignocaine is a better analgesic than either ethyl chloride or nitrous oxide for peripheral intravenous cannulation.
Emerg. Med. Australas. 19: 427-432.

ROOZEN, A.W.M., V.T. Tsuma, U. MAGNUSSON (1995):

Effects of short-term restraint stress on plasma concentrations of catecholamines, beta endorphin, and cortisol in gilts.
Am. J. Vet. Res. 56: 1225-1227.

RUDA, M.A., Q.-D. LING, A.G. HOHMANN, Y.B. PENG, T. TACHIBANA (2000):

Altered nociceptive neuronal circuits after neonatal peripheral inflammation.
Science 289: 628-631.

RUIS, M. A., J.H. TE BRAKE, B. ENGEL, E.D. EKKEL, W.G. BUIST, H.J. BLOKHUIS, J.M. KOOLHAAS (1997):

The circadian rhythm of salivary cortisol in growing pigs: effects of age, gender, and stress.
Physiol. Behav. 62: 623-630.

RYTZ, U. (2004):

Wunde, Wundheilung.
In: M. Kramer (Hrsg.).
Kompendium der Allgemeinen Veterinärchirurgie.
Schlütersche Verlagsgesellschaft, Hannover, 1. Auflage: 274-277.

SANN, H. (2005):

Nozizeption und Schmerz.
In: W. von Engelhart und G. Breves (Hrsg.).
Physiologie der Haussäugetiere.
Enke Verlag, Stuttgart, 2. Auflage: 74-79.

SCHÖNREITER, S., H. HUBER, V. LOHMÜLLER, A.J. ZANELLA, J. UNSHELM, J. HENKE, W. ERHARDT (1999):

Speichelkortisol als Streßparameter bei Saugferkeln.
Tierärztl. Prax. 27 (G): 175-179.

SCHULZ, C. (2007):

Auswirkungen einer Isofluran-Inhalationsnarkose auf den Kastrationsstress und die postoperativen Kastrationsschmerzen von Ferkeln.
Vet. med. Diss. München.

SCHULZ, C., M. RITZMANN, A. PALZER, K. HEINRITZI, S. ZÖLS (2007a):

Auswirkungen einer Isofluran Inhalationsnarkose auf den postoperativen Kastrationsschmerz von Ferkeln.
Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr. 120: 177-182.

SCHULZ, C., M. RITZMANN, A. PALZER, W. OTTEN, K. HEINRITZI (2007b):

Verlauf der Noradrenalin- und AdrenalinKonzentrationen vor und nach der Kastration von Saugferkeln mit und ohne Isofluran-Narkose.
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 114: 454-459.

SEIDEL, G.E. (2009):

Sperm sexing technology - the transition to commercial application. An introduction to the symposium "Update on sexing mammalian sperm".
Theriogenology 71: 1-3.

SELBY, I.R., B.J.M BOWLES (1995):

Analgesia for venous cannulation: a comparison for EMLA cream (5 minutes application), lignocaine, ethyl chloride, and nothing.
J. R. Soc. Med. 88: 264-267.

SOULT, T.A., J.S. WALKER (1993):

Ethyl chloride intoxication.
Am. J. Emerg. Med. 11: 313-315.

STERNBERG, W.F., L. SCORR, L.D. SMITH, C.G. RIDGWAY, M. STOUT (2005):

Long-term effects of neonatal surgery on adulthood pain behaviour.
Pain 113: 347-353.

SWISSMEDIC (2008):

Swissmedic: Risiken und Konsequenzen eines großflächigen Isofluran-Einsatzes bei der Ferkelkastration.

Abgerufen am 16. September 2009 von:

<http://www.swissmedic.ch/aktuell/00003/00637/index.html?lang=de>

TAJET, H., Ø. ANDRESEN, T.H.E. MEUWISSEN (2006):

Estimation of genetic parameters of boar taint; skatole and androstenone and their correlations with sexual maturation.
Acta Vet. Scand. 48: S9.

TAYLOR, A.A., D.M. WEARY (2000):

Vocal responses of piglets to castration: identifying procedural sources of pain.
Appl. Anim. Behav. Sci. 70: 17-26.

TOP AGRAR ONLINE (2008):

Holland erprobt CO₂-Kastration.

Abgerufen am 9. Juni 2009 von:

http://www.topagrar.com/index.php?option=com_contentundtask_viewundid=3568undItemid=520

UNGEMACH, F. R. (2006):

Pharmaka zur Beeinflussung von Entzündungen.

In: W. Löscher, F. R. Ungemach und R. Kroker (Hrsg.).

Pharmakotherapie bei Haus- und Nutztieren.

Parey Verlag, Stuttgart, 7. Auflage: 354-403.

VETIDATA (2009):

VETIDATA; Veterinärmedizinischer Informationsdienst für Arzneimittelanwendung, Toxikologie und Arzneimittelrecht.

Abgerufen am 1. April 2009 von:

<http://www.vetidata.de>

WAIBEL, K.H., R.K. KATIAL. (2005):

Effect of topical vapocoolant spray on skin test wheal, flare and pain responses.

Ann. Allergy Asthma Immunol. 95: 149-153.

WALDMANN, K.-H., K. OTTO, W. BOLLWAHN (1994):

Ferkelkastration - Schmerzempfindung und Schmerzausschaltung.

Dtsch. Tierärztl. Wschr. 101: 105-109.

WALKER, B., N. JÄGGIN, M. DOHERR, U. SCHATZMANN (2004):

Inhalation anaesthesia for castration of newborn piglets: experiences with isoflurane and isoflurane/N₂O.

J. Vet. Med. 51: 150-154.

WALSTRA, P., C. CLAUDI-MAGNUSSEN, P. CHEVILLON, G. VON SETH, A. DIESTRE, K.R. MATTHEWS, D.B. HOMER, M. BONNEAU (1999):

An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: levels of androstenone and skatole by country and season.

Livest. Prod. Sci. 62: 15-28.

WEILER, U., M. FONT I FURNOLS, K. FISCHER, H. KEMMER, M.A. OLIVER, M. GISPERT, A. DOBROWOLSKI, R. CLAUS (2000):

Influence of differences in sensitivity of Spanish and German consumers to perceive androstenone on the acceptance of boar meat differing in skatole and androstenone concentrations.

Meat Sci. 54: 297-304.

WHITE, J.M., E. SIEGFRIED, M. BOULDEN, G. PADDA (1999):

Possible hazards of cryogen use with pulsed dye laser; A case report and summary.

Dermatol. Surg. 25: 250-253.

WHITE, R.G., J.A. DESHAZER, C.J. TRESSLER, G.M. BORCHER, S. DAVEY, A. WANINGE, A.M. PARKHURST, M.J. MILANUK, E.T. CLEMENS (1995):

Vocalisation and physiological response of pigs during castration with or without a local anesthetic.

J. Anim. Sci. 73: 381-386.

WYSOCKI, C.J., G.K. BEAUCHAMP (1984):

Ability to smell androstenone is genetically determined.

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 81: 4899-4902.

WYSOCKI, C.J., K.M. DORRIES, G.K. BEAUCHAMP (1989):

Ability to perceive androstenone can be acquired by ostensibly anosmic people.

Proc. Natl. Acad. Sci. USA 86: 7976-7978.

XUE, J.L., G.D. DIAL, E.E. HOLTON, Z. VICKERS, E.J. SQUIRES, Y. LOU, D.A. GODBOUT, N. MOREL (1996):

Breed differences in boar taint: relationship between tissue levels boar taint compounds and sensory analysis of taint.

J. Anim. Sci. 74: 2170-2177.

XUE, J.L., G.D. DIAL, J.E. PETTIGREW (1997):

Performance, carcass, and meat quality advantages of boars over barrows: A literature review.

Swine Health Prod. 5: 21-28.

YOKOYAMA, M.T., J.R. CARLSON, L.V. HOLDEMAN (1977):

Isolation and characteristics of a skatole-producing *Lactobacillus* sp. from the bovine rumen.

Appl. Environ. Microbiol. 34: 837-842.

ZAMARATSKAIA, G., L. RYDHMER, G. CHEN, A. MADEJ, H.K. ANDERSSON, K. LUNDSTRÖM (2005):

Boar taint is related to endocrine and anatomical changes at puberty but not to aggressive behaviour in entire male pigs.

Reprod. Dom. Anim. 40: 500-506.

ZAMARATSKAIA, G., L. RYDHMER, H.K. ANDERSSON, G. CHEN, S. LOWAGIE, K. ANDERSSON, K. LUNDSTRÖM (2008):

Long-term effect of vaccination against gonadotropin-releasing hormone, using ImprovacTM, on hormonal profile and behaviour of male pigs.

Anim. Reprod. Sci. 108: 37-48.

ZANKL, A. (2007):

Untersuchungen zur Wirksamkeit und Gewebeverträglichkeit von Lokalanästhetika bei der Kastration männlicher Saugferkel.

Vet. med. Diss. München.

ZAPPA, S.C., S.B. NABORS (1992):

Use of ethyl chloride topical anesthetic to reduce procedural pain in pediatric oncology patients.

Cancer Nurs. 15: 130-136.

ZDS - ZENTRALVERBAND DER DEUTSCHEN SCHWEINEPRODUKTION

E.V. (2008):

Gemeinsame Erklärung zur Ferkelkastration.

Abgerufen am 16. September 2009 von:

<http://www.zds-bonn.de/cms/download.php/1429/080929+Gemeinsame+Erkla4rung.pdf>

ZÖLS, S. (2006):

Möglichkeiten der Schmerzreduzierung bei der Kastration männlicher Saugferkel.

Vet. med. Diss. München.

ZÖLS, S., M. RITZMANN, K. HEINRITZI (2006):

Einfluss von Schmerzmitteln bei der Kastration männlicher Ferkel.

Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr. 119: 193-196.

Danksagung

Ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Dr. K. Heinritzi für die Bereitstellung dieses interessanten Themas sowie seine Hilfe bei der Anfertigung dieser Arbeit. Mit großer Anerkennung möchte ich mich auch für den Enthusiasmus bedanken, mit dem Sie auf dem Gebiet der Ferkelkastration arbeiten und für das große Interesse, mit dem Sie die Durchführung und Ergebnisse dieser Arbeit verfolgt haben.

Frau Dr. Zöls möchte ich herzlichst für die gute Betreuung sowie die stetige Hilfe bei allen praktischen, literarischen und technischen Problemen danken. Herrn Prof. Dr. Ritzmann und Herrn Dr. Palzer gilt mein Dank für die wertvolle Diskussion bei theoretischen und praktischen Fragestellungen.

Frau Dr. Sauter-Louis aus der Klinik für Wiederkäuer danke ich herzlichst für die großartige Hilfe bei der statistischen Auswertung meiner Ergebnisse und die immer rasche und verlässliche Lösung meiner Statistiksorgen. Bei Frau Garner möchte ich mich für die zuverlässige Auswertung meiner Cortisolproben bedanken.

Darüberhinaus gilt Herrn Dr. Ammon, Herrn Dipl. Ing. Laffert, Herrn Praller und Herrn Wolf aus dem Lehr- und Versuchsgut Thalhausen großer Dank für die freundliche und geduldige Unterstützung, die die praktische Durchführung des Versuchs sehr erleichtert hat.

Ein großer, persönlicher Dank geht an Herrn Kilchling, mit dem die Zusammenarbeit immer Spaß gemacht hat und dessen Arbeitsweise sich mit meiner so hervorragend ergänzt. Lieber Tim, Deine lustige Art und Dein offenes Ohr haben über viele berufliche wie private Katastrophen hinweggeholfen!

Frau Dr. Elicker, Frau Dr. Kunert, Frau Dr. Kolb und Frau Dr. Mettler danke ich für ihre geduldigen Antworten, das Probelesen und die wertvolle Kritik an den Rohfassungen. Frau Austin-Busse, Frau Zimmermann und Herrn Dr. Eddicks gilt mein Dank für die Entlastung von vielen klinischen Aufgaben zur Fertigstellung dieser Arbeit.

Allen Rotationsstudenten und Freunden möchte ich danken für die Wochenenden, die sie für mich als Ferkelfänger und -halter im Schweinestall verbracht haben. Meinem Vater danke ich ganz besonders für die tatkräftige Mitarbeit im Schweinestall Weihnachten 2008.

Meinen Eltern und Martin Härtner gilt große Anerkennung, weil sie mich in der Endphase der Arbeit noch ertragen haben. Martin, Dir danke ich für Deine Computernotfallhilfe und Deine endlose Geduld! Das nun wirklich letzte (und vielleicht größte) „Danke“ geht an meine Eltern. Ihr habt es mir ermöglicht zu studieren und zu promovieren, habt mich all die Jahre unterstützt und aufgemuntert, mit mir gefiebert, gefeiert, geschimpft, gelacht, geflucht und zuletzt auch (nach Schwein) gestunken. Und dafür bin ich Euch sehr, sehr dankbar!

Anhang

Tabelle 13: Signifikanzen der An- und Abstiege der mittleren Cortisolkonzentration zwischen den Blutentnahmen innerhalb der einzelnen Gruppen

Gruppe	p-Werte			
	Basal zu 1/2 h	1/2 h zu 1 h	1 h zu 4 h	4 h zu 24 h
Handling(1)	< 0,001	0,795	≤ 0,05	0,109
Vereisung(2)		< 0,001		0,426
Kastration(3)		0,038		0,624
Vereisung+Kastration(4)		< 0,001		0,331
Kastration+LA(5)		0,232		0,058
Vereisung+Kastration+LA(6)		0,303		0,048
LA i.t.+Kastration(7)		0,617		0,037
Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)		0,601		0,477

Tabelle 14: Signifikanzen der Vergleiche der mittleren Cortisolkonzentrationen zwischen bestimmten Gruppen zu den fünf Blutentnahmezeitpunkten

Vergleich der Cortisolwerte der Gruppen	p-Werte				
	Basal	1/2 h	1 h	4 h	24 h
1 und 2	> 0,05	0,035	0,734	0,921	> 0,05
1 und 3		< 0,001	< 0,001	0,916	
4 und 6		0,421	0,005	0,272	
5 und 6		0,079	0,322	0,558	
5 und 7		0,467	0,670	0,719	
6 und 8		0,161	0,346	0,045	

Tabelle 15: Signifikanzen der Abweichungen der mittleren Cortisolkonzentration vom Basalwert innerhalb der Gruppen

Gruppe	p-Werte			
	Basal zu ½ h	Basal zu 1 h	Basal zu 4 h	Basal zu 24 h
Handling(1)	< 0,001	0,026	0,207	> 0,05
Vereisung(2)		0,148	0,079	
Kastration(3)			0,323	
Vereisung+Kastration(4)			0,917	
Kastration+LA(5)		< 0,001	0,038	
Vereisung+Kastration+LA(6)			0,163	
LA i.t.+Kastration(7)			0,075	
Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)			0,342	

Tabelle 16: Perzentile Q. 25, Q. 50 und Q. 75, Mittelwerte und Standardabweichungen des Wundscore der kastrierten Tiere der Gruppe 3-8

Tag	Gruppe	Median	Q. 25	Q.75	Mittelwert	SD
d 1	Kastration(3)	9,5	8,5	9,5	9,2	1,2
	Vereisung+Kastration(4)	9,0	8,0	9,9	9,0	1,0
	Kastration+LA(5)	9,5	9,0	10,5	9,7	1,0
	Vereisung+Kastration+LA(6)	10,0	9,5	10,9	10,0	1,4
	LA i.t.+Kastration(7)	9,0	8,5	9,5	9,2	0,8
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	10,0	9,0	10,5	9,9	1,1
d 4	Kastration(3)	8,0	8,0	9,0	8,5	1,3
	Vereisung+Kastration(4)	8,0	7,5	8,9	8,2	1,0
	Kastration+LA(5)	8,5	8,0	9,5	8,8	1,1
	Vereisung+Kastration+LA(6)	9,0	8,5	9,9	9,1	0,9
	LA i.t.+Kastration(7)	8,0	7,5	9,5	8,4	1,1
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	8,5	8,0	9,3	8,8	1,3
d 7	Kastration(3)	7,3	6,5	8,4	7,4	1,2
	Vereisung+Kastration(4)	7,3	6,3	8,0	7,3	1,2
	Kastration+LA(5)	7,8	7,0	8,5	7,9	1,3
	Vereisung+Kastration+LA(6)	8,5	7,5	9,4	8,6	1,6
	LA i.t.+Kastration(7)	7,5	6,5	9,0	7,8	1,5
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	8,5	7,3	9,8	8,3	1,6
d 14	Kastration(3)	5,8	5,0	7,0	6,0	1,1
	Vereisung+Kastration(4)	6,0	5,0	6,5	6,1	1,1
	Kastration+LA(5)	6,5	5,6	8,0	6,8	1,3
	Vereisung+Kastration+LA(6)	7,0	6,0	8,4	7,1	1,3
	LA i.t.+Kastration(7)	6,5	6,0	7,0	6,5	1,1
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	7,0	5,8	7,5	6,8	1,3
d 21	Kastration(3)	5,0	5,0	6,0	5,6	0,9
	Vereisung+Kastration(4)	5,0	5,0	5,5	5,3	0,6
	Kastration+LA(5)	5,5	5,0	6,5	5,8	1,1
	Vereisung+Kastration+LA(6)	6,0	5,0	7,4	6,3	1,2
	LA i.t.+Kastration(7)	5,0	5,0	6,0	5,5	0,9
	Vereisung+Kastration mit Klemme+LA(8)	6,0	5,0	6,9	6,2	1,4