

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

**Einfluss einer GnRH Vakzine auf Verhalten, Schlachtkörperqualität,
Leistungs- sowie endokrine Parameter bei männlichen
Mastschweinen**

**von Simon Reiter
aus Linz**

München 2018

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

Lehrstuhl für Krankheiten des Schweines

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

Mitbetreuung durch: Dr. Susanne Zöls

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

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

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Mathias Ritzmann

Korreferent/en: Prof. Dr. Armin M. Scholz

Tag der Promotion: 27. Juli 2018

Für meine Familie
und meine Freundin

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	15
II.	LITERATURÜBERSICHT	17
1.	Historie zum Verzicht der Ferkelkastration und gesetzliche Regelungen in Deutschland	17
2.	Ebergeruch.....	18
2.1.	Wahrnehmung des Ebergeruchs.....	18
2.2.	Androstenon	19
2.2.1.	Bildung.....	20
2.2.2.	Metabolisierung und Ausscheidung.....	20
2.3.	Skatol und Indol	22
2.3.1.	Bildung.....	22
2.3.2.	Metabolisierung und Ausscheidung.....	24
2.4.	Weitere Einflussfaktoren auf die Ausbildung des Ebergeruchs.....	25
2.4.1.	Genetische Unterschiede	25
2.4.2.	Fütterung	25
2.4.3.	Endokrine Faktoren.....	26
2.4.4.	Umwelt.....	26
3.	Alternativen zur chirurgischen Kastration	27
3.1.	Ebermast.....	27
3.1.1.	Ebergeruch und Ebermast	27
3.1.2.	Betriebswirtschaftliche Aspekte der Ebermast	28
3.1.3.	Schlachtkörperzusammensetzung von Ebern.....	28
3.1.4.	Verhalten der Eber	30
3.2.	Immunsierung gegen GnRH	30
3.2.1.	GnRH-Vakzine Improvac®	31
3.2.2.	Wirkmechanismus und Impfschema von Improvac®	32
3.3.	Erblichkeit und genetische Zuchtselektion	34
III.	MATERIAL UND METHODEN	37
1.	Teilversuch 1: Einfluss verschiedener Impfzeitpunkte unter standardisierten Bedingungen	38
1.1.	Ziel der Untersuchung.....	38

1.2.	Betrieb	38
1.3.	Aufstallung der Tiere	39
1.4.	Zootechnische Maßnahmen.....	39
1.5.	Versuchsablauf	40
1.5.1.	Gruppeneinteilung und Randomisierung	40
1.5.2.	Verluste	42
1.5.3.	Impfung	42
1.5.4.	Gewichtsentwicklung und Mastdatenerhebung	43
1.5.5.	Verhaltensbeobachtung	43
1.5.6.	Blutprobenentnahme	44
1.5.6.1.	Testosteronbestimmung im Serum (Radio Immuno Assay-RIA).....	45
1.5.6.2.	Bestimmung der GnRH-Bindung im Serum	45
1.5.7.	Kotprobenentnahme und Testosteronbestimmung aus dem Kot	46
1.5.8.	Schlachtung	46
1.5.9.	Penisbonitur und Vermessung der akzessorischen Geschlechtsorgane	47
1.5.10.	Fettprobenentnahme	48
1.5.10.1.	Fettprobenentnahme zur Geruchsanalytik.....	48
1.5.10.2.	Geruchsanalytik.....	49
1.5.10.3.	Fettprobenentnahme zur Fettsäureanalytik	49
1.5.10.4.	Fettsäureanalytik	49
1.5.11.	Schlachtdatenerhebung	50
1.6.	Statistische Auswertung:.....	50
2.	Teilversuch 2: Publikation: Penile Injuries in Immunocastrated and Entire Male Pigs of One Fattening Farm.....	53
3.	Teilversuch 3: GnRH-Vakzination unter Feldbedingungen	55
3.1.	Ziel der Untersuchung	55
3.2.	Versuchsbetrieb & Haltungsbedingungen.....	55
3.3.	Versuchsablauf	55
3.3.1.	Gruppeneinteilung und Randomisierung	55
3.3.2.	Impfung	56
3.3.3.	Verhaltensbeobachtung & Hautbonitur.....	56
3.3.4.	Schlachtung	56
3.4.	Statistische Auswertung	57
IV.	ERGEBNISSE	59

1.	Teilversuch 1: Einfluss verschiedener Impfzeitpunkte unter standardisierten Bedingungen	59
1.1.	Verhaltensbeobachtung	59
1.2.	GnRH-Bindung und Serum-Testosteronkonzentration.....	61
1.3.	Testosteronkonzentration im Kot	64
1.4.	Wachstumsleistung, Fett- und Schlachtparameter	66
1.4.1.	Wachstumsleistung	66
1.4.2.	Fettparameter.....	66
1.4.3.	Schlachtparameter	68
1.5.	Ebergeruch	70
1.6.	Penisverletzungen	73
1.7.	Akzessorische Geschlechtsorgane	74
2.	Teilversuch 2: Publikation: Penile Injuries in Immunocastrated and Entire Male Pigs of One Fattening Farm.....	77
3.	Teilversuch 3: GnRH-Vakzination unter Feldbedingungen	93
3.1.	Allgemeinbefinden, Verhalten und Hautscore.....	93
3.2.	Penisverletzungen	94
3.3.	Ebergeruch	95
V.	DISKUSSION	97
1.	Verhalten.....	98
2.	Hautbonitur	99
3.	Serum-Testosteronkonzentration und GnRH-Bindung	100
3.1.	Serum-Testosteronkonzentration	100
3.2.	GnRH-Bindung	101
3.3.	Serum-Testosteronkonzentration und GnRH-Bindung.....	102
4.	Fäkale Testosteronkonzentration	103
5.	Zeitpunkt der Reversibilität der Impfung	104
6.	Wachstumsleistung	105
7.	Fettqualität.....	105
8.	Schlachtparameter	108
9.	Ebergeruch.....	109

10.	Penisverletzungen.....	112
11.	Akzessorische Geschlechtsorgane.....	115
12.	Limitierungen	117
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	119
VII.	SUMMARY	121
VIII.	LITERATURVERZEICHNIS.....	123
IX.	ANHANG	147
X.	DANKSAGUNG	149

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

3 β -HSD	3 β - Hydroxysteroid-Dehydrogenase
ABPE	Acute bovine pulmonary edema and emphysema – akutes Lungenödem- und emphysem beim Rind
AVVLMH	Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis
BHT	Butylhydroxytoluol
BuB	Bulbourethraldrüsen (Harnröhrenzwiebeldrüsen)-Breite
BuL	Bulbourethraldrüsen (Harnröhrenzwiebeldrüsen)-Länge
bzw.	beziehungsweise
C	Kastraten
ca.	circa
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
cpm	counts per minute
DEAE - Dextran	Diethylaminoethyl- Dextran
dTZN	durchschnittliche Tageszunahmen
E	intakte Eber
EFSA	European Food and Safety Authority – Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit
Fa.	Firma
FettF	Fettfläche
FleischF	Fleischfläche
FVW	Futterverwertung
GC	Gaschromatographen
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GnRH	Gonadotropin Releasing Hormon
GvB	Glandula vesicularis (Samenblasendrüsen)-Breite
GvL	Glandula vesicularis (Samenblasendrüsen)-Länge
Henn.M	Hennessy-Muskelfleischanteil
HoL	Hoden-Länge
HVL	Hypophysenvorderlappen
IC	Immunokastraten (Impfgruppen)
IGF-1	Insulin-like growth factor 1
IMF	Intramuskuläres Fett
IV	Iodine Value (Jodzahl)
KFA	Komplettes Freund Adjuvans
LeitfähigkeitK	Leitfähigkeit im Kotelett 24 Stunden nach der Schlachtung
LeitfähigkeitS	Leitfähigkeit im Schinken 24 Stunden nach der Schlachtung
LfL	Landesanstalt für Landwirtschaft
LH	Luteinisierendes Hormon
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität München
LOQ	Limit of quantification

LW	Lebenswoche
ME	metabolisierbare Energie
MfA	Muskelfleischanteil
MFA	Monounsaturated fatty acids – einfach ungesättigte Fettsäuren
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
MRI	Max-Rubner-Institut
NK	Nachkontrolle
ns	nicht signifikant
NSAID	Nicht-Steroidales-Antiphlogistikum
NSP	Nicht-Stärke-Polysaccharide
O ₂	Sauerstoff
p	Wahrscheinlichkeit
PB	Prostata-Breite
pH1K	pH-Wert Kotelett eine Stunde nach der Schlachtung
pH24K	pH-Wert Kotelett 24 Stunde nach der Schlachtung
PL	Prostata-Länge
PUFA	Polyunsaturated fatty acids – mehrfach ungesättigte Fettsäuren
QS	Qualitätssicherung
QTL	Quantitative Trait Locus
RIA	Radio Immune Assay
Rp	Rohprotein
SFA	Saturated fatty acids – gesättigte Fettsäuren
SGW	Schlachtgewicht
SHBG	Sex hormone binding globulin
SNP	Single Nukleotid Polymorphismen
SpeckW/R/L/S	Speckschicht Widerrist (W), Rückenmitte (R), Lende (L) und Seite (S)
TGD	Tiergesundheitsdienst
TMSH	Trimethylsulfoniumhydroxid
TV	Teilversuch
UDP	Uridindiphosphat
V1	erste Impfung
V2	zweite Impfung
vs.	versus

I. EINLEITUNG

Laut EFSA (European Food and Safety Authority) Journal 2004 werden jährlich 80% (ca. 100 Millionen) der männlichen Schweine in den europäischen Mitgliedsstaaten kastriert (GUNN et al., 2004), wobei der überwiegende Anteil der Tiere dafür nicht betäubt wird. Aufgrund des steigenden Interesses an tierartgerechtem Umgang mit Nutztieren wird der Druck auf die Schweineproduktion, auf die betäubungslose Ferkelkastration zu verzichten, immer größer. Die Novellierung des Tierschutzgesetzes vom 13. Juli 2013 trägt diesem Rechnung und verbietet die betäubungslose Ferkelkastration ab 1. Januar 2019 (TIERSCHG, 2015) vollständig.

Die Kastration männlicher Schweine hat eine lange Geschichte und wurde ursprünglich praktiziert um die Tiere im Verhalten ruhiger und das Fleisch fettreicher zu machen (BAUMGARTNER, 2008). Heute hingegen dient es hauptsächlich der Vermeidung des Ebergeruchs.

Um dem Anspruch der Verbraucher und den gesetzlichen Regelungen gerecht zu werden, werden derzeit verschiedene alternative Verfahren zur betäubungslosen chirurgischen Ferkelkastration untersucht, wobei dabei der Aufzucht unkastrierter Eber (Ebermast), der chirurgischen Kastration unter Analgesie und Anästhesie, sowie der Impfung gegen Ebergeruch die größte Bedeutung zukommen.

In der vorliegenden Arbeit wurde in drei Teilversuchen die Impfung gegen Ebergeruch mittels Improvac[®] (Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) untersucht, wobei im ersten Teilversuch unter standardisierten Versuchsbedingungen bewusst auf das klassisch empfohlene Impfschema des Impfstoffherstellers verzichtet und der Einfluss abweichender Impfschemata auf verschiedene Parameter genauer untersucht wurde, um die Flexibilität für die Anwendung des Impfstoffes in der Praxis zu erhöhen. Im zweiten Teilversuch wurden in einem Praxisbetrieb mit langjähriger Erfahrung in der Ebermast die Penisverletzungen von intakten Ebern mit denen von Improvac[®]-geimpften Tieren in einem Mastdurchgang vergleichend über vier Schlachtdurchgänge untersucht. Im dritten Teilversuch wurden die Parameter Verhalten, Haut- und Penisverletzungen sowie Ebergeruch zwischen intakten Ebern und geimpften Tieren unter Praxisbedingungen untersucht.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. **Historie zum Verzicht der Ferkelkastration und gesetzliche Regelungen in Deutschland**

Die Arbeitsgruppe der European Food Safety Authority (EFSA), als europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, war die erste, welche sich 2004 mit der chirurgischen Kastrationspraxis ohne Betäubung und deren Konsequenzen intensiv auseinandersetzte (GUNN et al., 2004). Mit steigendem Interesse der Bevölkerung an tiergerechter Haltung und dem Tierschutz von Nutztieren folgte 2007 mit der Erklärung von Noordwijk, die freiwillige Forderung niederländischer Vermarkter, nur unter Betäubung kastrierte männliche Schweine zu vermarkten, sowie der Plan auf die Kastration bis 2015 vollständig zu verzichten (QUALITÄTSSICHERUNG, 2016). Neben den Niederländern sprechen sich in der Düsseldorfer Erklärung 2008 auch der Deutsche Bauernverband, der Verband der Fleischwirtschaft, sowie der Hauptverband des Deutschen Einzelhandels für einen baldmöglichsten Verzicht der Ferkelkastration aus (QUALITÄTSSICHERUNG, 2016). Zwei Jahre später wurde in der ebenso freiwilligen Europäischen Deklaration über Alternativen zur chirurgischen Kastration bei Schweinen im ersten Schritt gefordert, dass ab 1. Januar 2012 männliche Ferkel nur mehr mit Schmerzmittel und/oder Anästhetikum kastriert werden dürfen und im zweiten Schritt, dass ab 1. Januar 2018 auf die Kastration vollständig verzichtet werden soll (QUALITÄTSSICHERUNG, 2016).

Bis dato ist in Deutschland aufgrund nationaler gesetzlicher Regelungen (TIERSCHG, 2015) die chirurgische Kastrationen von unter acht Tagen alten männlichen Ferkeln ohne Betäubung bis zum Ende der Übergangsregelung am 31. Dezember 2018 erlaubt. Ab diesem Datum dürfen männliche Ferkel, unabhängig von deren Alter, nur mehr mit Betäubung und Schmerzmedikation chirurgisch kastriert werden (TIERSCHG, 2015). Die Änderung dazu brachte die Novellierung des Tierschutzgesetzes vom 13. Juli 2013 (TIERSCHG, 2015). Schweinebetriebe mit speziellen Anforderungen an die Qualitätssicherung (QS-zertifizierte Schweinehaltung) müssen sich seit 1. April 2009 verpflichten, bei jeder Ferkelkastration Schmerzmittel zu applizieren (QUALITÄTSSICHERUNG, 2016).

Neben diesen nationalen Bestrebungen, auf die chirurgische Ferkelkastration zu verzichten und auf alternative Verfahren umsteigen zu können, gibt es auch bereits internationale Umsetzungen. In Norwegen ist die Kastration seit 2002 und in den Niederlanden seit 2007 nur unter ausreichender Schmerzausschaltung erlaubt. Die Schweiz verzichtet seit 2010 vollständig auf die chirurgische Ferkelkastration ohne Betäubung (BAUMGARTNER, 2008). In Großbritannien und Irland werden hingegen nahezu alle männlichen Tiere ohne Kastration gemästet (BAUMGARTNER, 2008), jedoch werden diese mit geringeren Schlachtgewichten (ca. 70kg, ausgenommen Spanien) geschlachtet, um das Risiko des Ebergeruchs zu reduzieren (BAUMGARTNER et al., 2004; THOMSEN et al., 2015).

2. Ebergeruch

Nach CHEN (2007) wird der überaus unangenehm riechende, oft als fäkal und urinartig bezeichnete Duft, welcher durch das Erhitzen von Fleisch männlicher, unkastrierter Schweine entstehen kann, als Ebergeruch bezeichnet. Die beiden hauptsächlich für den Geruch verantwortlichen Substanzen sind Skatol (VOLD, 1970; WALSTRA & MARSE, 1970) und $\Delta 16$ -Steroide, mit 5α -Androst-16-en-3-on (Androstenon) als wichtigsten Vertreter (PATTERSON, 1968).

2.1. Wahrnehmung des Ebergeruchs

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Studien zur Geruchs- und Geschmackswahrnehmung von Eberfleisch durchgeführt (WALSTRA, 1974; DESMOULIN et al., 1982; MALMFORS & LUNDSTRÖM, 1983; DIESTRE et al., 1990; BONNEAU et al., 2000; BABOL et al., 2002). Es zeigte sich, dass nicht alle Personen gleich sensitiv auf Fleisch männlicher, unkastrierter Schweine reagieren. So sind weibliche sensibler als männliche Testpersonen (WEILER et al., 2000) und der Geruch trägt zu einem größeren Prozentsatz zur Ablehnung des Fleisches bei, als der unangenehme Geschmack (BONNEAU et al., 2000). MATTHEWS et al. (2000) zeigen, dass es auch länderübergreifende Unterschiede bezüglich der Wahrnehmung des Ebergeruchs gibt. Testpersonen aus Großbritannien zählen beispielsweise zu den Geruchsunempfindlicheren in Europa (MATTHEWS et al., 2000). WEILER et al. (2000) beschreiben, dass 31% der Teilnehmer aus Spanien und nur 18% aus Deutschland hoch sensitiv auf

Ebergeruch reagieren. Um Grenzwertkonzentrationen für die beiden Hauptgeruchskomponenten festzulegen untersuchten DESMOULIN et al. (1982) die Verbraucherakzeptanz in Abhängigkeit vom Androstenon Gehalt. Die Untersuchung ergibt, dass Androstenonkonzentrationen $>1000\text{ng/g}$ Fett als genussuntauglich und Konzentrationen $<500\text{ng/g}$ Fett vom Verbraucher als unauffällig gewertet werden. Diese Androstenonkonzentrationen werden auch in anderen Studien als Grenzwerte herangezogen (WALSTRA et al., 1999; DUNSHEA et al., 2001). Für Skatol werden in verschiedenen Studien Konzentrationen von 200 bis 250ng/g Fett angegeben und als Grenzwerte für Ebergeruch definiert (BONNEAU et al., 1992; WALSTRA et al., 1999; DUNSHEA et al., 2001).

Der Nachweis von Ebergeruch wird durch Methoden, welche in der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis (AVV, 2014) beschrieben werden, erbracht. Ein messbares Verfahren, welches auch als Goldstandard zur Geruchsanalytik angesehen wird (FISCHER et al., 2011), stellt die Stabile-Isotopen-Verdünnungsanalyse nach FISCHER et al. (2011) dar.

2.2. Androstenon

Die im Jahr 1968 als Androstenon identifizierte (PATTERSON, 1968), urinartig riechende Substanz im Fettgewebe von Ebern, wird hauptsächlich in den Leydig-Zellen des Hodens synthetisiert (GOWER, 1972; ALDAL et al., 2005; CHEN, 2007; ZAMARATSKAIA & SQUIRES, 2009). Neben Androstenon werden auch die beiden Alkoholvarianten 3α - und 3β -Androstenol (5α -Androst-16-en- 3α -ol und 5α -Androst-16-en- 3β -ol), welche in den Speicheldrüsen dominieren, zu den $\Delta 16$ -Steroiden gerechnet (WEILER & WESOLY, 2012). Da auch niedrige Androstenonkonzentrationen bei weiblichen Tieren und Kastraten gefunden werden, wird vermutet, dass die Nebennierenrinde und die Ovarien eine untergeordnete Rolle bei der Androstenonproduktion spielen (AHMAD & GOWER, 1968; CLAUS et al., 1971). $\Delta 16$ -Steroide sind als Pheromone für die Kommunikation zwischen Individuen verantwortlich, wobei auch Fortpflanzungsfunktionen der Sauen beeinflusst werden (MELROSE et al., 1971; ANDRESEN, 2006; WEILER & WESOLY, 2012).

2.2.1. Bildung

Die Ausgangssubstanzen zur Bildung von Androstenon sind die Vorläufersubstanzen Pregnenolon und Progesteron (BONNEAU, 1982; WESOLY et al., 2015) woraus auch andere Geschlechtshormone wie Östrogene und Androgene gebildet werden (BONNEAU, 1982; CLAUS et al., 1994). Trotz großer biochemischer Ähnlichkeit zu den Androgenen hat Androstenon keine hormonelle Aktivität (BROOKS & PEARSON, 1986). Aus Pregnenolon entsteht in weiterer Folge 5,16-Androstadien-3 β -ol (Δ 5-Syntheseweg) bzw. aus Progesteron 4,16-Androstadien-3-on (Δ 4-Syntheseweg). Aus Letzterem kann Androstenon und daraus die Alkoholderivate 3 α - und 3 β -Androstenol gebildet werden. Der Biosyntheseweg des Androstenons ist in Abbildung 1 dargestellt.

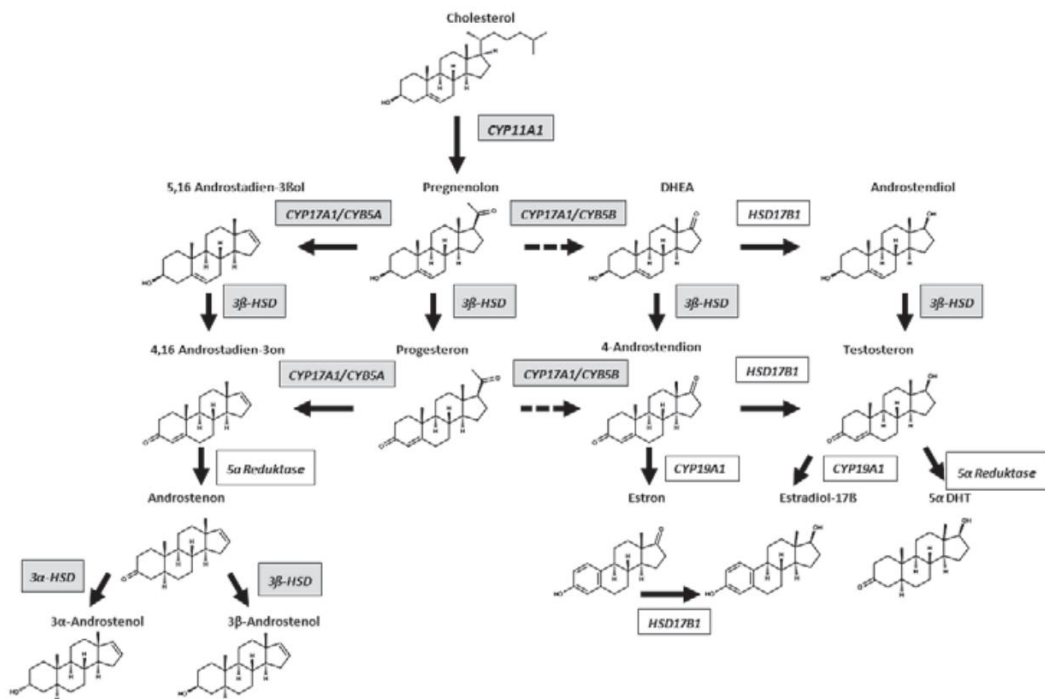


Abbildung 1 Biosynthese von Δ 16-Steroiden in Eberhoden (WEILER & WESOLY, 2012)

2.2.2. Metabolisierung und Ausscheidung

Nach der Androstenonbildung folgen weitere Metabolisierungsschritte in Hoden und Leber. Dabei spielen die Enzyme Hydroxysteroid-Sulfotransferase und Hydroxysteroid-Dehydrogenase eine wichtige Rolle (DORAN et al., 2004; SINCLAIR et al., 2005; SINCLAIR & SQUIRES, 2005).

Ein großer Anteil der Hodensteroide wird unverzüglich nach deren Synthese im Hoden durch das Enzym Hydroxysteroid-Sulfotransferase sulfokonjugiert,

wodurch die Polarität, der hydrophile Charakter und somit auch die Fähigkeit zur renalen Elimination steigen (SINCLAIR & SQUIRES, 2005). Tiere mit geringerer Fähigkeit 5α -Androstenon zu sulfokonjugieren zeigen folglich einen höheren Anteil an unkonjugiertem 5α -Androstenon in der Blutzirkulation, welcher für die Akkumulation im Fettgewebe verantwortlich sein und demnach zu Ebergeruch führen kann (SINCLAIR & SQUIRES, 2005). Etwa 70% des Androstenons im Plasma kommen in der sulfokonjugierten Form vor (SINCLAIR & SQUIRES, 2005). Für den Androstenontransport im Blut wurden noch keine spezifischen Bindungsproteine nachgewiesen, wobei beim Schwein auch das Sex-hormone-binding-globulin (SHBG) fehlt, welches Steroide im Blut anderer Spezies bindet (WEILER & WESOLY, 2012).

In der Leber können zwei Metabolisierungsschritte des Androstenons unterteilt werden, welche für den Abbau und die nachfolgende Elimination von Bedeutung sind (WEILER & WESOLY, 2012). Im ersten Schritt kommt es durch die Enzyme 3α - und 3β -Hydroxysteroid-Dehydrogenase zur Bildung von 3α -Androstenol und 3β -Androstenol (DORAN et al., 2004). Da es dabei jedoch hauptsächlich zur Metabolisierung von 3β -Androstenol und nur in geringem Maße zur Bildung von 3α -Androstenol kommt, spricht man auch von der 3β -Hydroxysteroid-Dehydrogenase (3β -HSD) (DORAN et al., 2004). Das bei präpubertalen Tieren dominierende 3α -Androstenol wird ca. ab der 18. Lebenswoche durch 3β -Androstenol abgelöst (GOWER, 1972). Die nun vorhandene OH-Gruppe bildet den Enzymen des zweiten Metabolisierungsschrittes (Hydroxysteroid-Sulfotransferase und Uridindiphosphat (UDP)-Glucuronyltransferase) die Möglichkeit Sulfat- oder Glucuronylreste anzuhängen, welche die Polarität erhöhen und somit die Elimination über die Niere fördern (WEILER & WESOLY, 2012). Sowohl die Bildung der Alkoholderivate als auch die Sulfatierungsprozesse spielen also nicht nur bei der Androstenonsynthese im Hoden, sondern auch bei der Metabolisierung und Elimination in der Leber eine wichtige Rolle (WEILER & WESOLY, 2012).

Nach der Abgabe des Androstenons aus den Leydig-Zellen des Hodens ins Blutgefäßsystem kommt es entweder in der Leber durch die genannten Metabolisierungsschritte zur Inaktivierung und Ausscheidung des Androstenons bzw. aufgrund des lipophilen Charakters zur Einlagerung ins Fettgewebe (ZAMARATSKAIA & SQUIRES, 2009; WEILER & WESOLY, 2012), oder alternativ zum Transport zu den Speicheldrüsen, wo es an das niedermolekulare

Protein Pheromaxein gebunden (AUSTIN et al., 2004; ANDRESEN, 2006) und durch die Speichelsekretion („Patschen“ der Eber) ausgeschieden wird (CLAUS, 1979; WEILER & WESOLY, 2012).

Die überaus schnelle Aufnahme von Androstenon in die genannten Kompartimente (Fett, Leber, Speicheldrüsen) zeigt die Studie von GROTH und CLAUS (1977), in der 6-fach niedrigere Plasma-Androstenon-Konzentrationen im peripheren Plasma (*Vena auricularis*) im Vergleich zur *Vena spermatica* gefunden werden. Liegen die Androstenonkonzentrationen im peripheren Blut über 15ng/ml ist häufig auch mit hohen Androstenonkonzentrationen im Fett zu rechnen (ANDRESEN, 1976). Jedoch ist die Androstenonaufnahme ins Fettgewebe deutlich schneller als die Abgabe, wodurch es zu einer Anreicherung im Fett kommt und daher erst ca. zwei bis sechs Wochen nach einer Kastration Werte unterhalb der Wahrnehmungsgrenze erreicht werden (CLAUS, 1976).

Die Steuerung der Hodenfunktion, und demnach auch der Androstenonproduktion, unterliegt dem neuroendokrinen hypothalamo-hypophysären Regelkreis (CLAUS et al., 1994). Somit führen Konzentrationsänderungen der sezernierten Releasing Hormone aus dem Hypothalamus bzw. der Hypophyse – Gonadotropin Releasing Hormon (GnRH) bzw. Luteinisierendes Hormon (LH) – zur Änderung der Steroidbiosynthese im Ganzen (CLAUS et al., 1994).

2.3. Skatol und Indol

Skatol (3-Methyl-Indol) und die Vorläufersubstanz Indol sind für die fäkal riechende Geruchskomponente des Ebergeruchs verantwortlich (CLAUS et al., 1994), wobei Skatol einen größeren Einfluss als Indol auf den Geruch aufzuweisen scheint (HANSSON et al., 1980). Skatol kann im Gegensatz zu Androstenon von jeder Person wahrgenommen werden, da keine Anosmie für Skatol beschrieben wird (WYSOCKI et al., 1989).

2.3.1. Bildung

Skatol und Indol entstehen bei Monogastriern durch den bakteriellen Abbau der Aminosäure Tryptophan im Dickdarm. Dabei wird Tryptophan durch eine Vielzahl an verschiedenen Bakterien zu Indol oder alternativ zu Indollessigsäure umgewandelt (CLAUS et al., 1994). Die weitere Metabolisierung der Indollessigsäure zu Skatol kann lediglich durch einige wenige hochspezialisierte

Bakterien, darunter Laktobazillen des Bakterienstammes 11201 (HONEYFIELD & CARLSON, 1990), Bakterien der Familie Bacteroides (COOK et al., 2007), sowie durch Bakterienstämme wie Clostridien, darunter *Clostridium disporicum*, ermöglicht werden (LI et al., 2009).

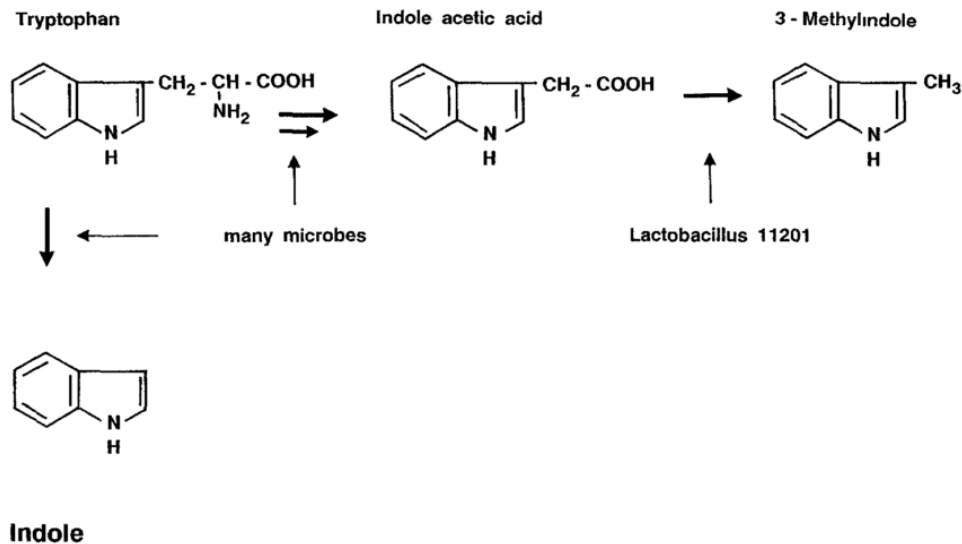


Abbildung 2 Mikrobielle Zersetzung des Tryptophans im Intestinaltrakt (CLAUS et al., 1994)

Die Menge an produziertem Skatol und anderen aus Tryptophan entstehenden Metaboliten, ist folglich von der Verfügbarkeit des Tryptophans und von der Zusammensetzung der Bakterien im Dickdarm der Schweine abhängig (ZAMARATSKAIA & SQUIRES, 2009). Hohe Mengen an Tryptophan und die Präsenz von Skatol-bildenden Bakterien im Dickdarm führen bei gleichzeitigem Energiemangel dieser Bakterien dazu, dass das Tryptophan nicht als Baustein für den Aufbau von bakterieneigenen Proteinen, sondern zur Energiegewinnung zu Skatol abgebaut wird (WEILER & WESOLY, 2012).

Eine der Hauptquellen von Tryptophan zur Skatolproduktion stellt der Zelldebris der Darmschleimhaut dar (CLAUS et al., 1994). Der alleinige Zusatz von Tryptophan im Futter führt hingegen nicht zu einer erhöhten Skatolkonzentration im Kot, da freies Tryptophan überwiegend bereits im Dünndarm resorbiert wird und dadurch nicht für entsprechende Bakterien im Dickdarm zur Verfügung steht (BERNAL-BARRAGAN, 1992).

Im Gegensatz zum Androstenon können hohe Skatolkonzentrationen, aufgrund der Bildung im Dickdarm (CLAUS et al., 1994), sowohl bei männlichen als auch weiblichen Tieren sowie Kastraten vorkommen (DEHNHARD et al., 1991).

2.3.2. Metabolisierung und Ausscheidung

Das gebildete Skatol bzw. Indol wird über die Darmschleimhaut aufgenommen und gelangt über die Portalvene zur Leber (WEILER & WESOLY, 2012), wo weitere Metabolisierungsschritte ablaufen (ANDRESEN, 2006; ZAMARATSKAIA & SQUIRES, 2009; WEILER & WESOLY, 2012). Die Metabolisierung von Skatol in der Leber findet grundsätzlich in einer oxidativen Phase 1 und einer konjugativen Phase 2 statt (ZAMARATSKAIA & SQUIRES, 2009; WEILER & WESOLY, 2012). In der ersten Phase wird eine Hydroxylgruppe an Skatol angehängt, welche im zweiten Schritt zur Anheftung eines Konjugats genutzt wird (ZAMARATSKAIA & SQUIRES, 2009; WEILER & WESOLY, 2012).

Die Mehrheit der Phase 1 Enzyme gehört zum Cytochrom P450-Komplex, mit CYP2E1 und CYP2A als wichtigste Vertreter (SQUIRES & LUNDSTRØM, 1997; BABOL et al., 1998a; DORAN et al., 2002). Zudem wird die Aldehyd-Oxidase als bedeutendes Enzym der Phase 1 von DIAZ und SQUIRES (2000b) genannt. Werden die beiden Schlüsselenzyme CYP2E1 und CYP2A durch bestimmte Faktoren inhibiert, kommt es in Folge zur verringerten Produktion von Skatolmetaboliten in den Lebermikrosomen (DIAZ & SQUIRES, 2000a). Die bei männlichen im Vergleich zu weiblichen Tieren geringer ausgeprägte Expression dieser beiden Enzyme (SKAANILD & FRIIS, 1999), führt zu einer niedrigeren Skatolmetabolisierung in der Leber und dadurch zu höheren Skatoleinlagerungen ins Fettgewebe (ZAMARATSKAIA et al., 2006). Aufgrund der hemmenden Wirkung des Androstenons auf die Expression von CYP2E1 führen hohe Androstenonwerte tendenziell zu hohen Skatolwerten (DORAN et al., 2004). Die genetische (r_g) bzw. phänotypische (r_p) Korrelation zwischen beiden Substanzen wird von FRIEDEN et al. (2014) mit $r_g=0,33$ bzw. $r_p=0,29$ beschrieben.

Am Ende der Phase 1 werden verschiedene Metaboliten unterschieden, welche alle in tierindividuell unterschiedlichen Mengen auftreten (DIAZ et al., 1999). Durch Anhängen einer Sulfat- oder Glucuronsäuregruppe in der Phase 2 (BABOL et al., 1998b; DIAZ & SQUIRES, 2003) steigt die Polarität und der hydrophile Charakter, sodass das Skatol renal über den Urin ausgeschieden werden kann (ZAMARATSKAIA & SQUIRES, 2009; WEILER & WESOLY, 2012). Aufgrund der hoch effektiven Metabolisierungsschritte in der Leber kann die

Skatolkonzentration schon bei der ersten Passage durch die Leber um bis zu 90% verringert werden (WEILER & WESOLY, 2012).

Das nicht metabolisierte Skatol kann sich aufgrund des lipophilen Charakters auch im Fettgewebe einlagern (WEILER & WESOLY, 2012). Im Gegensatz zum lipophileren Androstenon sinkt die Skatolkonzentration im Fett innerhalb weniger Tage wenn die Skatolbildung im Darm, z. B. durch den Einsatz von Inulin (CLAUS et al., 1994), reduziert wird.

2.4. Weitere Einflussfaktoren auf die Ausbildung des Ebergeruchs

2.4.1. Genetische Unterschiede

Nicht alle Schweinerassen zeigen eine gleiche Prädisposition für Ebergeruch. So zeigt die Studie von XUE et al. (1996), die Eber von verschiedenen Schweinerassen (Duroc, Hampshire, Landrasse und Yorkshire) hinsichtlich der Androstenon- und Skatolkonzentrationen untersucht, dass die Androstenonwerte von Duroc-Schweinen zu einem höheren Prozentsatz oberhalb eines definierten Grenzwertes liegen und Landrasse-Schweine die niedrigsten durchschnittlichen Androstenon- und Skatolwerte aufweisen, wobei die Ursachen dafür unklar sind.

2.4.2. Fütterung

Futtermittelsversuche ergaben, dass Rationen mit niedriger präcaecaler Proteinverdaulichkeit die Skatolproduktion stimulieren, da mehr Proteine den Dünndarm passieren und in den Dickdarm gelangen können. Dort werden diese anschließend durch proteolytische Bakterien gespalten (JENSEN et al., 1995), wohingegen Rationen mit hohen Anteilen an Nicht-Stärke-Polysacchariden (NSP) (KNARREBORG et al., 2002) oder anderen nicht fermentierbaren Kohlenhydraten (ZAMARATSKAIA et al., 2005a) die Skatolproduktion aufgrund einer Änderung der Bakterienflora im Darm senken.

Als weiterer Faktor spielt das Fütterungsmanagement eine Rolle, da gezeigt wurde, dass Flüssigfütterung mit Molkezusatz, anstatt Wasser, niedrigere Skatolwerte bedingt, als die Vergleichsgruppe mit Trockenfütterung (ANDERSSON et al., 1997).

Auch die Applikation des antibiotischen Futterzusatzstoffes Zink-Bacitracin (HANSEN et al., 1997) oder des Tylosin-Phosphats (HAWE et al., 1992) führt zur Senkung der Skatolkonzentration (HANSEN et al., 1997).

2.4.3. Endokrine Faktoren

Neben der Fütterung beschreiben WEILER und WESOLY (2012) auch endogene Faktoren bei der Skatolbildung, wie den Östrogeneinfluss, die Wirkungen von Glukokortikoiden und das Vorhandensein des Wachstumsfaktors Insulin-like growth factor 1 (IGF-1) (CLAUS et al., 1994). So bewirken Östrogene während der Brunst eine Abnahme der Futteraufnahme und dementsprechend eine längere Passagerate des Futters, was zu einer Erhöhung der Skatolkonzentration führen kann (CLAUS et al., 1994). Glukokortikoide verursachen durch deren katabolen Effekt und folglich erhöhter Apoptose der Darmzellen vermehrt Zelldebris und dadurch erhöhte Skatolkonzentrationen (CLAUS et al., 1994). Ebenso führt IGF-1 durch die Stimulation der Zellproliferation und dem erhöhten Zell-Turnover der Darmschleimhautzellen zu erhöhten Skatolkonzentrationen (CLAUS et al., 1994).

2.4.4. Umwelt

Sowohl die Androstenon-, als auch die Skatolproduktion ist von verschiedenen Umweltfaktoren abhängig (HENDRIKS & KING, 2002). CLAUS et al. (1994) beschreiben steigende Androstenonkonzentrationen durch abnehmende Tageslichtdauer oder künstliche Lichtprogramme, welche die Winterjahreszeit simulieren. Auch ANDERSSON et al. (1998) zeigen niedrigere Androstenonkonzentrationen im Frühling/Sommer als in der Kontrollgruppe Herbst/Winter. Im Gegensatz dazu konnte gezeigt werden, dass in der Sommerjahreszeit bei hohen Umgebungstemperaturen höhere Skatolkonzentrationen im subkutanen Fettgewebe auftreten als in den Wintermonaten (HANSEN et al., 1994). Als Grund wird diskutiert, dass Skatol bei Temperaturen über 30°Celsius aus den Exkrementen über die Haut, bzw. als gasförmiges Skatol über die Lunge aufgenommen werden kann. Tiere, die in ihrem eigenen Kot und Urin für mindestens eine Woche lang liegen, weisen höhere Skatolwerte auf, als Artgenossen, die sauber gehalten werden (HANSEN et al., 1994).

3. Alternativen zur chirurgischen Kastration

3.1. Ebermast

Da bei der Mast intakter Eber komplett auf die chirurgische Kastration männlicher Ferkel verzichtet wird, wird diese von Befürwortern häufig als beste Alternative zur herkömmlichen betäubungslosen chirurgischen Kastration gesehen (BAUMGARTNER, 2008). Trotz des positiven Tierwohlgedankens, durch den Verzicht unnötig zugefügter Schmerzen, Leiden und Schäden am Tier, werden in Europa hauptsächlich in Großbritannien, Irland, Spanien und Portugal unkastrierte Eber gemästet, während in den anderen Ländern weiterhin chirurgisch kastriert wird (BONNEAU, 1998).

3.1.1. Ebergeruch und Ebermast

Um in den Ländern Europas mit praktizierender Ebermast den Anteil geruchsauffälliger Tiere niedrig zu halten, werden die Tiere häufig bei niedrigeren Schlachtkörpergewichten (etwa 70kg), ausgenommen Spanien, geschlachtet (BAUMGARTNER et al., 2004). In Deutschland wurden im Jahr 2016 Schlachtkörpergewichte von durchschnittlich 94kg erzielt (STATISTISCHES-BUNDESAMT, 2018), in Österreich wurden hingegen im selben Jahr Schlachtkörpergewichte von 97kg erreicht (AGRARMARKT-AUSTRIA, 2017). BONNEAU et al. (1987) zeigen, dass sowohl das Alter, als auch das Gewicht der Tiere einen Einfluss auf die Androstenonkonzentration zu haben scheinen. So zeigen ältere und somit auch schwerere Tiere aufgrund der beginnenden Pubertät mehr sexuelles Verhalten und aufgrund von pubertalen neuroendokrinen Veränderungen auch steigende Androstenonkonzentrationen (BONNEAU, 2006). Allerdings wird in verschiedenen Studien beschrieben, dass auch niedrigere Schlachtkörpergewichte keine Garantie für Geruchsunauffälligkeit am Schlachtband darstellen. So zeigen ALDAL et al. (2005) bei Noroc-Ebern, dass 13% der Tiere mit mittleren Lebendgewichten von 53-62kg und mittleren Schlachtkörpergewichten von 36-42kg, Skatolkonzentrationen über dem gesetzten Grenzwert von 0,21µg/g Fett und 18,9% der Tiere Androstenonkonzentrationen über 0,5µg/g Fett und 8,3% über 1,0µg/g Fett aufweisen. Der mittlere Androstenongehalt ist allerdings mit 0,36µg/g Fett niedriger als die in der Studie herangezogenen Vergleichswerte von WALSTRA et al. (1999) mit 0,79 bis 1,27µg/g Fett bei intakten Schlachtebern aus sechs verschiedenen europäischen

Ländern (Großbritannien, Schweden, Niederlande, Dänemark, Frankreich und Spanien). Auch die Studie von BONNEAU et al. (1987) bestätigt die Korrelation zwischen ansteigendem Gewicht sowie Alter der Tiere und erhöhtem Auftreten des Ebergeruchs.

3.1.2. Betriebswirtschaftliche Aspekte der Ebermast

Dem negativen Ebergeruch stehen zahlreiche ökonomische Vorteile für den Landwirt gegenüber, die sich in niedrigeren Produktionskosten niederschlagen. Das Wegfallen der Kastrationsarbeit, sowie die damit verbundene Zeitersparnis, keine potentiellen kastrationsbedingten Tierverluste und keine temporär verringerten Wachstumsleistungen sind dabei hauptsächliche Gründe, die für eine Ebermast sprechen (BONNEAU, 1998).

PAULY et al. (2008) beschreiben, dass Eber geringere Tageszunahmen als Kastraten haben (771 vs. 830g/Tag), allerdings auch weniger fressen (1,87 vs. 2,23kg/Tag) und eine bessere Futtermittelverwertung aufweisen (2,42 vs. 2,69kg/kg Futter). Die bessere Futtermittelverwertung variiert je nach den vorherrschenden Mastbedingungen und kann zu Futtereinsparungen in der gesamten Mastperiode von 1,8-27kg führen (XUE et al., 1997). ANDERSSON et al. (1997) bestätigen die bessere Futtermittelverwertung der Eber gegenüber Kastraten und auch weiblichen Tieren und beschreiben die höchsten Tageszunahmen bei Kastraten im Bereich von 26-60kg Lebendgewicht und 60-105kg Lebendgewicht bei Ebern.

Durch den anabolen Stoffwechsel bei Ebern und dem dadurch erhöhten Proteinumsatz im Vergleich zu Kastraten oder weiblichen Tieren kommt es in der Ebermast zudem zu einer Verringerung der fäkalen und renalen Stickstoff-Ausscheidung (HOLMES et al., 1980; WILLIAMS et al., 1984; HANSEN & LEWIS, 1993).

3.1.3. Schlachtkörperzusammensetzung von Ebern

Die Schlachtkörperzusammensetzung ist nicht nur vom Geschlecht, sondern auch stark von der Genetik der Tiere abhängig (BERESKIN & DAVEY, 1978; LAUTERBACH, 2012). BAUER und JUDAS (2014) vergleichen die Schlachtkörperzusammensetzung von Ebern, Sauen sowie Kastraten und zeigen, dass Eber den höchsten Muskelfleischanteil (MfA) (60,5%), gefolgt von Sauen (59,3%) und Kastraten (57,0%) aufweisen und der Fettanteil einen gegenläufigen Verlauf, mit dem höchsten Fettanteil bei Kastraten (25,1%), dem niedrigsten

Anteil bei Ebern (18,9%) und einem mittleren Fettanteil bei weiblichen Tieren (22,2%) aufweist. Die Gewebefraktionen Knochen, Schwarten und Sehnen sind bei Ebern im Vergleich zu Sauen und Kastraten am größten (BAUER & JUDAS, 2014).

Der Fettanteil der Eberschlachtkörper unterscheidet sich nicht nur in der Quantität von Sauen und Kastraten, sondern auch hinsichtlich der Zusammensetzung, vor allem hinsichtlich des unterschiedlichen Fettsäuremusters (BARTON-GADE, 1987). So zeigt BARTON-GADE (1987), dass intakte Eber mit 58,55% den größten und Kastraten mit 57,26% den geringsten Anteil an ungesättigten Fettsäuren aufweisen. Weibliche Tiere liegen mit einem ungesättigten Fettsäureanteil von 58,33% zwischen beiden Gruppen (BARTON-GADE, 1987). Die Jodzahl, welche ein Maß für den Gehalt an ungesättigten Verbindungen eines Fettes darstellt, spiegelt in der Untersuchung von BARTON-GADE (1987) auch den hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren bei Eberschlachtkörpern wider, da 20% der Eber Werte über 70 (70g Jod/ 100g Fett) aufweisen, hingegen nur 7% der Sauen und 1% der Kastraten diesen Wert erreichen. Der hohe Gehalt an ungesättigten Fettsäuren führt nicht nur zu einer weicheren Fettkonsistenz, sondern beeinflusst dadurch auch die Weiterverarbeitung negativ und erhöht die Empfindlichkeit gegenüber der Fett-Oxidation (BONNEAU, 1998).

Das Gesamtfett des Schlachtkörpers kann im Wesentlichen in subkutanes, inter- und intramuskuläres sowie perirenal-retroperitoneales Fett unterteilt werden (BABOL & SQUIRES, 1995). Untersuchungen von BAUER und JUDAS (2014) zeigen gleiche intramuskuläre Fett (IMF)-Gehalte bei Ebern und Sauen, aber signifikante Unterschiede zu Kastraten. Da aufgrund der Züchtung in der Schweinepopulation allgemein eine ständige Erhöhung des MfAs angestrebt wurde, jedoch ohne Berücksichtigung des IMF-Gehaltes (MÖRLEIN, 2007) und ein Merkmalsantagonismus zwischen MfA und IMF besteht, führte dies in Folge zur Verringerung des IMF-Gehaltes, einem eigentlich als Qualitätskriterium angesehenen Parameter des Fleisches (MÖRLEIN, 2007). IMF-Gehalte von 2-2,5% gelten als wünschenswert für gute Fleischqualität (MÖRLEIN, 2007), jedoch führen IMF-Werte über 3,5% zu einer Reduzierung der Verbraucherakzeptanz, vermutlich durch den größer werdenden sichtbaren Fettanteil im Muskelfleisch (FERNANDEZ et al., 1999). LAUBE et al. (2000) zeigen, dass lediglich dänische Duroc-Eber Werte über 2,0% erreichen und die Werte deutscher Schlachtkörper zwischen 1,2-1,5% liegen.

Der Prozentsatz der Ausschlachtung ist bei Ebern im Vergleich zu weiblichen Tieren oder Kastraten etwas niedriger, da der Reproduktionstrakt (inklusive Harnblase) bei männlichen Tieren um 1,64kg schwerer als der von weiblichen Tieren ist (SATHER et al., 1991). Außerdem haben Eber schwerere Nieren und Lebern als weibliche Tiere, wobei bei weiblichen Tieren im Gegensatz dazu schwerere Milzen beschrieben werden (SATHER et al., 1991).

3.1.4. Verhalten der Eber

In verschiedenen Studien wird über vermehrtes Aggressions- sowie Sexualverhalten bei der Mast von Ebern berichtet (RYDHMER et al., 2006; FREDRIKSEN et al., 2008; RYDHMER et al., 2013), jedoch zeigen TURNER et al. (2006) und RYDHMER et al. (2006), dass dieses aggressive Verhalten und die damit verbundenen Verletzungen, wie Hautläsionen oder Lahmheiten durch Managementänderungen verbessert werden können. So berichten FREDRIKSEN et al. (2008), dass die Haltung von Wurfgeschwistern vom Zeitpunkt der Abferkelung bis zur Schlachtung das aggressive Verhalten und Hautläsionen reduziert. Ebenso führt eine Sozialisierungsphase der Ferkel ab der zweiten Lebenswoche zur Bildung vertrauter Gruppen, die zu reduzierterem aggressiven Verhalten bei Masteinstellung beitragen (RYDHMER et al., 2013). Außerdem zeigen Eber, die bei der Einstellung in die Mast mit unbekanntem Ebern gemischt werden, während der gesamten Mastperiode häufiger Aggressionsverhalten (RYDHMER et al., 2013). Auch der Transport einzelner Tiere zum Schlachthof führt bei den verbleibenden Buchtengenossen bereits zwei Tage darauf zum Anstieg unerwünschter Verhaltensweisen (FREDRIKSEN & HEXEBERG, 2009). Dabei wird vermutet, dass die frühere Schlachtung schwerer Tiere, welche häufig auch die ranghöheren Tiere darstellen, zu Rankämpfen bei den verbleibenden rangniedrigeren Tieren führt (FREDRIKSEN & HEXEBERG, 2009).

3.2. Immunisierung gegen GnRH

WILLIAMSON et al. (1985) beschreiben zunächst den Versuch der direkten Immunisierung gegen 5α -Androstenon, dessen Ergebnis allerdings eine unvollständige Unterdrückung des Androstenongehaltes im Fett bewirkt. Auch die Immunisierung gegen LH erweist sich weniger effektiv als die Immunisierung gegen GnRH (FALVO et al., 1986).

Aufgrund der geringen Molekülgröße des GnRHs wirkt dieses als Hapten und kann selbst keine Antikörperbildung induzieren (METZ, 2003). Die Kopplung des GnRH-Fragments an Carrier-Proteine, darunter beispielsweise das Diphtherie- oder Tetanustoxoid (SAD et al., 1991), bringt eine verbesserte Immunantwort. Die Effektivität der Kopplung kann durch das Hinzufügen eines Abstandshalters (Spacer) zwischen dem GnRH-Molekül und dem Trägerprotein gesteigert werden (TALWAR, 1985). Eine weitere Verbesserung der Immunantwort erzielt die Konjugation von zwei GnRH-Molekülen zu einem 20 Aminosäuren Tandemmolekül (MELOEN et al., 1994). Erst durch die Entwicklung eines GnRH-Tandem-Dimers (OONK et al., 1998), kann auf den Einsatz eines Kompletten Freund Adjuvans (KFA), ein hocheffizientes Adjuvans (THOMPSON, 2000), welches allerdings auch unerwünschte Gewebereaktionen auslöst und unbefriedigende Antikörpertiter induziert (TALWAR, 1985), verzichtet werden. Durch das Ersetzen mehrerer Aminosäuren des Tandem-Dimers durch andere können weitere Proteine gebunden werden, wodurch die Immunreaktion noch weiter gesteigert werden kann. Ein Beispiel hierfür ist die Kopplung von Ovalbumin an die von Glycin auf Lysin getauschte Aminosäure in dem G6k-GnRH-Tandem Dimer (Lys⁶ statt Gly⁶) (OONK et al., 1998).

3.2.1. GnRH-Vakzine Improvac[®]

Seit 1998 wird Improvac[®] (Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) kommerziell zur Impfung bei Ebern gegen Ebergeruch in Australien und Neuseeland eingesetzt und seit 2009 ist dieser Impfstoff auch in der Europäischen Union zugelassen (BRUNIUS, 2011). Neben verschiedenen beim Nutztier erhältlichen Impfstoffen spielt beim Mastschwein zur Verhinderung des Ebergeruchs nur Improvac[®], als einziges für Masteber zugelassenes Präparat, eine Rolle (METZ, 2003), wobei dessen Patent in naher Zukunft 2018 auslaufen wird (LEHNERT, 2016).

Das Präparat Improvac[®] beinhaltet ein synthetisch hergestelltes GnRH-Analogon, welches mit einem immunogen wirkenden Trägerprotein, einem Diphtherietoxoid, konjugiert ist (CLINIPHARM/CLINITOX, 2018; EUROPEAN-COMMISSION-PUBLIC-HEALTH, 2018). Um die Wirksamkeit und Dauer des Impfstoffes zu steigern wird ein wässriges, mineralölfreies Adjuvans (Diethylaminoethyl (DEAE)-Dextran) zugesetzt (CLINIPHARM/CLINITOX, 2018; EUROPEAN-COMMISSION-PUBLIC-HEALTH, 2018).

3.2.2. Wirkmechanismus und Impfschema von Improvac®

Die GnRH Vakzine löst eine humorale Immunantwort gegen körpereigenes GnRH aus (DUNSHEA et al., 2001), wodurch die hypothalamo-hypophysäre Hormonachse durch Inaktivierung des GnRHs blockiert und folglich die Funktion der Leydig-Zellen im Hoden eingeschränkt wird (EINARSSON et al., 2009). Dadurch wird die Bildung von Androstenon und folglich auch das Auftreten von Ebergeruch verhindert (DUNSHEA et al., 2001). Die Effektivität der Impfung wird in mehreren Studien bestätigt (JAROS et al., 2005; ZAMARATSKAIA et al., 2008a).

Das Immunisierungsschema von Improvac® umfasst laut Herstellerangaben zwei Injektionen à 2ml pro Tier, welche subkutan verabreicht werden, wobei mindestens vier Wochen zwischen beiden Impfungen liegen müssen und der Abstand der zweiten Impfung bis zur Schlachtung vier bis sechs Wochen betragen soll (DUNSHEA et al., 2001; ZAMARATSKAIA et al., 2008b; ALUWÉ et al., 2016; CLINIPHARM/CLINITOX, 2018).

Die erste Impfung entspricht laut DUNSHEA et al. (2001) einer immunologischen Erststimulierung ohne physiologische Effekte auf die Hodenfunktion. Erst die zweite Impfung führt zu einem starken Anstieg der Antikörper gegen körpereigenes GnRH (DUNSHEA et al., 2001). Durch die Blockade und fehlende Stimulierung der Hypophyse kommt es neben Veränderungen der akzessorischen Geschlechtsorgane und des Hodens (OONK et al., 1995; ZAMARATSKAIA et al., 2008a; EINARSSON et al., 2009) auch zu Veränderungen im Verhalten der Tiere (RYDHMER et al., 2010). So zeigen geimpfte Tiere weniger aggressives und sexuell motiviertes Verhalten im Vergleich zu Ebern (RYDHMER et al., 2010) und ein vergleichbares Verhalten dem der Kastraten (CRONIN et al., 2003).

Die zweite Vakzination führt außerdem zu einer deutlichen Reduzierung der Bulbourethraldrüsenlänge und des Hodengewichtes (OONK et al., 1995; JAROS et al., 2005; ZAMARATSKAIA et al., 2008a). Sowohl das Hodengewicht als auch die Hodengröße können nach OONK et al. (1995) als Parameter zur Abschätzung der Androstenonkonzentrationen herangezogen werden. Ein Hodengewicht von weniger als 150g und eine Hodengröße unter 9cm Länge gelten demnach als Parameter für Androstenonkonzentrationen unter 0,5µg/g Fett (OONK et al., 1995).

DUNSHEA et al. (2001) können bei allen Tieren zwei bis vier Wochen nach der zweiten Impfung eine Immunantwort gegen GnRH, sowie eine Reduktion der Testosteron- und Androstenonkonzentrationen feststellen. Der Wegfall der anabolen Hodensteroide ab der zweiten Impfung führt allerdings nicht zu verminderten Tageszunahmen, sondern zu gegenteilig höheren Tageszunahmen bei den geimpften Tieren (DUNSHEA et al., 2001). Diese sind durch höhere Futteraufnahmen der geimpften Tiere im Vergleich zu Ebern und Kastraten in der Endmast-Phase zu erklären, wobei die Futtermittelverwertung der Eber die der geimpften Tiere übertrifft (CRONIN et al., 2003; PAULY et al., 2009).

Männliche Schweine können gemäß Herstellerangaben ab einem Alter von acht Wochen mit Improvac[®] immunisiert werden (EUROPEAN-COMMISSION-PUBLIC-HEALTH, 2018). Bereits durchgeführte Studien in der 10. und 14. Lebenswoche zeigen die erfolgreiche Anwendung auch außerhalb der Herstellerempfehlungen (BRUNIUS et al., 2011; EINARSSON et al., 2011; ANDERSSON et al., 2012), wobei bei früh geimpften Tieren die männlichen Reproduktionsorgane (Hoden und Bulbourethraldrüse) zum Zeitpunkt der Schlachtung kleiner als bei standard-vakzinierten Tieren (vier bis sechs Wochen vor Schlachtung) sind, sich die Androstenon- und Skatolkonzentrationen jedoch nicht von denen der standard-vakzinierten Tiere unterscheiden (BRUNIUS et al., 2011). Auch die Testosteronkonzentrationen zwischen standard- und früh geimpften Tieren unterscheiden sich nicht signifikant (EINARSSON et al., 2011). In der Hodenhistologie zeigen sich hingegen deutliche Veränderungen. Einerseits in der Morphologie und der reduzierten Anzahl der Leydig-Zellen, andererseits auch in der deutlich negativ beeinträchtigten Spermatogenese (EINARSSON et al., 2011), wobei sich generell bei den früh geimpften Tieren eine stärkere Reduktion der Leydig-Zellen im Vergleich zu standard-vakzinierten Tieren darstellt (EINARSSON et al., 2011). Neben den Organveränderungen führt die frühere Impfung auch zu einer früheren Minimierung des aggressiven und sexuell motivierten Eberverhaltens und wirkt sich positiv auf das Tierwohl aus (ANDERSSON et al., 2012).

Der Hersteller empfiehlt die Schlachtung der Tiere innerhalb eines Zeitfensters von zehn Wochen nach der zweiten Impfung, indem am Schlachtband kein Ebergeruch festgestellt werden sollte (EUROPEAN-COMMISSION-PUBLIC-HEALTH, 2018). Nach diesen zehn Wochen steigt laut Hersteller das Risiko geruchsauffällige Tiere am Schlachthof festzustellen wieder an. Dieses Zeitfenster

kann in der Studie von ZAMARATSKAIA et al. (2008b) auf 22 Wochen ausgeweitet werden, in denen kein Tier erhöhte Ebergeruchswerte aufweist. CLAUS et al. (2008) hingegen zeigen große tierindividuelle Unterschiede von zehn bis 24 Wochen bis zum Wiedereinsetzen der normalen Leydig-Zell-Funktion. Die Annahme, dass hohe anfängliche Antikörpertiter potenziell zu einem verspäteten Einsetzen der Hodenfunktion führen, kann ROTTNER (2012) nicht belegen. Es kann gezeigt werden, dass der Eber mit der geringsten Titerhöhe zwar zuerst mit dem Wiedereinsetzen der Hodenfunktion beginnt, jedoch die zwei Eber mit den höchsten Titern an zweiter und vierter Stelle liegen.

Das Fleisch geimpfter Mastschweine stellt für den menschlichen Verzehr kein gesundheitliches Risiko dar, da durch die Verdauungsenzyme des Magendarmtraktes die Eiweiße des Impfstoffes und das GnRH-Analogon selbst denaturiert werden und der Impfstoff dadurch inaktiviert wird (BAUMGARTNER et al., 2004; CLARKE et al., 2008). Versuche an verschiedenen Tierspezies zeigen, dass sowohl bei oraler, als auch systemischer Gabe des Impfstoffes in das Blutkreislaufsystem keine hormonellen Effekte nachgewiesen werden können (CLARKE et al., 2008).

Jedoch muss bei der Durchführung der Impfung und Applikation des Impfstoffes unbedingt auf die Anwendersicherheit geachtet werden, da eine zweimalige Selbstinjektion beim Menschen ebenso zu einer temporären Suppression der hypothalamo-hypophysären Hormonachse führt (BRUNIUS, 2011). Versehentliche Selbstinjektionen sollten durch den Gebrauch einer Sicherheitsimpfpistole (SekurusTM, Simcro Limited, New Zealand) und einer Sicherheitsschulung vermieden werden (LEHNERT, 2016).

3.3. Erbllichkeit und genetische Zuchtselektion

Bei der Erbllichkeit des Ebergeruchs spielen die beiden Hauptkomponenten Androstenon und Skatol eine wichtige Rolle, wobei sich die Heritabilitäten beider Substanzen deutlich voneinander unterscheiden. Laut FRIEDEN et al. (2012) liegt die Heritabilität für Androstenon in einem Bereich von 0,5 bis 0,7 und für Skatol zwischen 0,3 und 0,5. Weitere Studien bestätigen dies (SELLIER et al., 2000; VARONA et al., 2005; BERGSMA et al., 2007; GRINDFLEK et al., 2011).

Die niedrigere Heritabilität für Skatol wird von FRIEDEN et al. (2012) durch die größere Beeinflussbarkeit von Skatol durch verschiedenste Umweltfaktoren wie Fütterung, Hygienemanagement und Haltungform und dessen Auswirkung auf

die bakterienbedingte Verstoffwechslung des Tryptophans im Dickdarm männlicher Schweine begründet. Aufgrund der hohen Erblichkeit von Androstenon wäre die züchterische Reduktion des Ebergeruchs erstrebenswert (FRIEDEN et al., 2011).

Als limitierender Faktor und Hauptproblem der züchterischen Selektion wird der Antagonismus zwischen Ebergeruch und Fruchtbarkeit angesehen (FRIEDEN et al., 2012), denn neben dem Ebergeruchsstoff Androstenon werden im Hoden auch noch weitere Substanzen wie die männlichen Sexualsteroiden (Androgene) produziert (FRIEDEN et al., 2012). Aufgrund der gleichen Herkunft und der daraus folgenden engen Beziehung zwischen beiden Substanzen sind antagonistische Effekte zwischen Androstenon und der männlichen Fruchtbarkeit zu erwarten. BERGSMA et al. (2007) berichten von antagonistischen Korrelationen zwischen Androstenon und der paternalen Fruchtbarkeit wie Lebensdauer der Spermien ($r_g=0,11$), Spermienmotilität ($r_g=0,32$), Ejakulationsvolumen ($r_g=0,18$), während die Spermienkonzentration eine erwünschte Korrelation zeigt ($r_g=-0,22$). Ebenso werden unerwünschte Korrelationen zwischen den Androstenonkonzentrationen und der maternalen Fertilität gezeigt (BERGSMA et al., 2007). Demnach prognostiziert das Vorhersagemodell von FRIEDEN et al. (2011) eine Reduktion der Häufigkeit von Ebern mit Ebergeruch $>1\mu\text{g/g}$ Fett von 20% auf 5% in einer Zeitspanne von vier bis sechs Generationen (acht bis zwölf Jahre) unter Berücksichtigung antagonistischer Effekte bezüglich der Fruchtbarkeit männlicher und weiblicher Tiere.

Eine andere züchterische Möglichkeit den Ebergeruch zu reduzieren, liegt in der Identifizierung der für den Ebergeruch verantwortlichen Genabschnitte, wobei dabei genetische Marker, v.a. Single Nukleotid Polymorphismen (SNP), eine wichtige Rolle spielen (FRIEDEN et al., 2011). In vielen verschiedenen Studien werden Genabschnitte (Quantitative Trait Locus - QTLs) beschrieben, die Einfluss auf die Ausprägung des Ebergeruchs haben (QUINTANILLA et al., 2003; LEE et al., 2005; VARONA et al., 2005; DUIJVESTIJN et al., 2010; GRINDFLEK et al., 2011). GRINDFLEK et al. (2011) finden allerdings genomische Marker für die Fruchtbarkeit an gleicher Stelle eines Chromosomes wie für das Merkmal Androstenon.

III. MATERIAL UND METHODEN

In der folgenden Dissertation wurden verschiedene Fragestellungen zur Auswirkung einer GnRH-Vakzination bei männlichen intakten Mastschweinen bearbeitet. Die folgende Arbeit gliedert sich in drei Versuchsteile:

1. In einer ersten Untersuchung wurde der Einfluss einer GnRH-Vakzination bei intakten Ebern zu verschiedenen Impfzeitpunkten auf endokrine Parameter (Testosteronkonzentration, GnRH-Bindung), Verhalten und Anzahl an Penisverletzungen sowie Mast- und Schlachtleistungsdaten, Ebergeruch und Größe der akzessorischen Geschlechtsdrüsen unter definierten Versuchsbedingungen untersucht und mit unkastrierten Ebern und Kastraten verglichen.
2. Zudem wurden in einem landwirtschaftlichen Betrieb mit langjähriger Erfahrung in der Ebermast die Penisverletzungen von intakten Ebern mit denen von GnRH-vakzinierten Ebern in einem Mastdurchgang vergleichend über vier Schlachtdurchgänge untersucht (REITER et al., 2017).
3. In einer weiteren Untersuchung wurden intakte Eber in einem landwirtschaftlichen Betrieb aufgestellt und die Auswirkung der GnRH-Vakzination auf Verhalten, Haut- und Penisverletzungen sowie Ebergeruch im Vergleich zu unkastrierten Schlachtebern unter Feldbedingungen untersucht.

1. Teilversuch 1: Einfluss verschiedener Impfzeitpunkte unter standardisierten Bedingungen

1.1. Ziel der Untersuchung

In der vorliegenden Untersuchung soll die Arbeitshypothese überprüft werden, ob verschiedene Impfzeitpunkte der GnRH Vakzine Improvac[®] (Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) einen Einfluss auf gemessene endokrine Parameter, im Besonderen die Testosteronkonzentration sowie Veränderungen der GnRH-Bindung, haben. Zudem soll untersucht werden, ob Einflüsse auf den Ebergeruch, die Mast- und Schlachtleistungsdaten, die Anzahl an Penisverletzungen, sowie die akzessorischen Geschlechtsdrüsen gezeigt werden können. Dazu werden die Daten der Versuchstiere, darunter geimpfte Tiere, sowie unkastrierte Eber und Kastraten, miteinander verglichen.

1.2. Betrieb

Der im Folgenden beschriebene Versuch wurde im Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Schweinehaltung Schwarzenau der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte durch Mitarbeiter der Klinik für Schweine der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), als auch durch Mitarbeiter der LfL Schwarzenau. Die Impfungen sowie die Verhaltensbeobachtungen wurden von Mitarbeitern der Klinik für Schweine an der LfL Schwarzenau durchgeführt. Die Daten zur Penisbonitur und der akzessorischen Geschlechtsorgane wurden von Mitarbeitern der Klinik für Schweine in Oberschleißheim erhoben. Die Schlachtdaten wurden direkt am betriebseigenen Schlachthof der LfL Schwarzenau erfasst.

Die Auswertung der Blut- und Kotproben erfolgte am Institut für Verhaltensphysiologie von Nutztieren der Universität Hohenheim, durch Frau Prof. Dr. Ulrike Weiler sowie deren Mitarbeiter, die der Fettproben am ELFI Analytik GbR-Labor in Bonn unter der Leitung von Dr. Paul Elsinghorst, sowie dem Institut für Qualität und Sicherheit bei Fleisch des Max-Rubner-Instituts (MRI) in Kulmbach, durch Frau Dr. Aneka Bauer und Mitarbeiter.

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von September 2016 bis Februar 2017, wobei als Versuchsbeginn die 11. Lebenswoche (LW) der Versuchstiere festgesetzt wurde.

Im Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Schweinehaltung Schwarzenau wurden 128 männliche, unkastrierte Ferkel in den Versuch eingeschlossen. Alle Versuchstiere (Piétrain x Deutsches Edelschwein/ Deutsche Landrasse) wurden in der LfL Schwarzenau geboren und entsprechend der Schweinehaltungshygieneverordnung untergebracht und versorgt.

1.3. Aufstallung der Tiere

Die Tiere wurden nach einer vier wöchigen Säugephase von den Muttersauen abgesetzt und bis zur Einstellung in den Versuchsstall (Maststall, 10. LW) in einem Ferkelaufzuchtstall (Quarantänestall) untergebracht. Der Ferkelaufzuchtstall stellte $0,45\text{m}^2$ / Tier (zwölf bis 13 Tiere pro Bucht), mit einem perforierten Kunststoffspaltenboden und Heizplatten (Flatdeck) sowie drei Nippeltränken/ Bucht zur Verfügung. Die ad libitum Fütterung bestand aus trockenem pelletiertem Futter. In der Mastphase wurden zwölf Tiere pro Bucht (13m^2), entsprechend $1,08\text{m}^2$ / Tier, auf einem Betonspaltenboden mit integrierter Festfläche gehalten. Futter wurde in pelletierter Form in Futterabrufstationen der Firma Schauer (Schauer Agrotronic GmbH, Prambachkirchen) ad libitum angeboten. Bei dem zwei-phasigen Fütterungsregime wurde die Futterzusammensetzung in der 17. LW geändert (von $13,86\text{MJ}$ metabolisierbarer Energie (ME), $19,8\%$ Rohprotein (Rp) auf $13,53\text{MJ}$ ME, $17,8\%$ Rp). Außerdem waren drei Nippeltränken zur ständigen Wasseraufnahme der Tiere in jeder Bucht montiert. Acht Tiere wurden in einem separaten Stall untergebracht wobei alle acht Tiere zunächst in einer gemeinsamen $11,1\text{m}^2$ großen Bucht ($1,39\text{m}^2$ /Tier) gehalten und ab einem Gewicht von ca. 120kg auf zwei Buchten im selben Stall aufgeteilt wurden. Der Betonspaltenboden zeigte keine Planbefestigung und es waren ebenso drei Nippeltränken/ Bucht zur ständigen Wasseraufnahme vorhanden. Das Fütterungsregime sowie die Futterbestandteile waren identisch zum Maststall der anderen Versuchstiere.

1.4. Zootechnische Maßnahmen

Alle zootechnischen Maßnahmen, darunter die chirurgische Kastration von 24 Tieren, das Kupieren der Schwänze sowie das Abschleifen der Eckzähne aller Tiere, wurden gemäß den gesetzlichen Bestimmungen des Tierschutzgesetzes (Stand: 2016) von Mitarbeitern der LfL Schwarzenau durchgeführt. Außerdem bekamen die Tiere am dritten Lebenstag die notwendige Eisensupplementation

(1ml, 200mg) und erhielten in der dritten LW die betriebsbedingten Ohrmarken, sowie die für die Futterautomaten notwendigen Ohrtransponder.

1.5. Versuchsablauf

1.5.1. Gruppeneinteilung und Randomisierung

Zur Durchführung des Versuches wurden die insgesamt 128 Ferkel auf sechs Versuchsgruppen (C, E, IC12, IC16, IC18, IC18X; siehe Tabelle 1) zu je 24 Tieren, ausgenommen IC18X mit lediglich acht Tieren, verteilt. Die Versuchsgruppen unterschieden sich durch die an ihnen vollzogene Behandlung. Somit konnte man eine Kastratengruppe (C), eine Ebergruppe (E) und die Impfgruppen (IC12, IC16, IC18, IC18X) voneinander unterscheiden. Die Gruppe C wurde aufgrund der bereits in der ersten LW stattfindenden Kastration nicht in die randomisierte Verteilung eingeschlossen. Bei den restlichen Gruppen erfolgte die Einteilung randomisiert nach dem Gewicht und der Abstammung der Tiere (Mutter/-und Vaterlinie) in der achten LW. Die Tiere der Gruppe E blieben ungeimpft, unkastriert und wurden als intakte Eber gemästet. Die Impfgruppen wurden entsprechend der Zulassung geimpft und erhielten dabei zu jeweils unterschiedlichen Zeitpunkten zwei Injektionen mit der GnRH-Vakzine Improvac[®] (Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin, 2ml subkutan, kaudal des Ohrgrundes) mittels des Sicherheitsinjektors Sekurus[™] (Simcro Limited, New Zealand), siehe Tabelle 1. Die Gruppe IC12 und IC18X wurden außerhalb der Herstellerempfehlung geschlachtet.

Tabelle 1 Gruppenübersicht mit Behandlungszeiten und Gewichten (Mittelwerte \pm Standardabweichungen), sowie Schlachtzeitpunkten, n=Anzahl der Tiere, LW=Lebenswoche, V1=1. Impfung, V2=2. Impfung)

Gruppe	n	Behandlung		Gewichte (kg) \pm SD		Schlachtung		
		V1	V2	V1	V2	LW 24	LW 26	LW 39
						(n)	(n)	(n)
C	23	kastriert		--	--	4	19	--
E	24	intakt		--	--	6	18	--
IC12	24	LW 8	LW 12	17,21 \pm 2,09kg	31,33 \pm 4,24kg	5	19	--
IC16	24	LW 12	LW 16	31,90 \pm 2,82kg	53,85 \pm 5,01kg	3	21	--
IC18	24	LW 12	LW 18	30,44 \pm 3,17kg	65,33 \pm 6,83kg	5	19	--
IC18X	7	LW 12	LW 18	--	--	--	--	7

Alle Tiere, ausgenommen die der Gruppe IC18X, wurden in einem Stallabteil untergebracht, wobei die Tiere einer Gruppe auf jeweils zwei gleich große Buchten à zwölf Tiere aufgeteilt wurden (siehe Abbildung 3). Die verbleibende IC18X Gruppe wurde separat in ein anderes Stallgebäude eingestallt, wobei in dieser Gruppe alle acht Tiere in einer gemeinsamen Bucht untergebracht wurden (siehe Kapitel 1.3).

Zehn Tiere jeder Gruppe sowie alle acht Tiere der Gruppe IC18X wurden in LW8 als „Markertiere“ für Entnahmen von Kotproben ausgewählt.

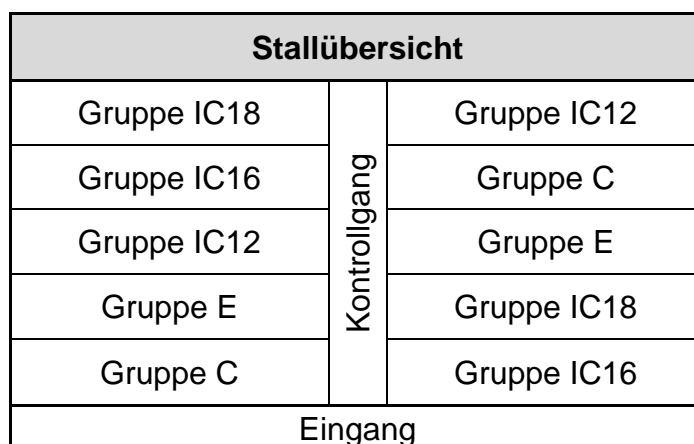


Abbildung 3 Stallplan der Versuchsgruppen C, E, IC12, IC16 und IC18

1.5.2. Verluste

Ein Tier aus Gruppe C und ein Tier aus Gruppe IC18X verendeten krankheitsbedingt und mussten daher aus dem Versuch und der anschließenden Datenanalyse ausgeschlossen werden.

1.5.3. Impfung

Als Impfstoff wurde das Präparat Improvac[®] (Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) verwendet, welches als wirksame Komponente ein GnRH-Analogon mit einem konjugierten Diphtherietoxoid beinhaltet.

Das zu applizierende Impfstoffvolumen (2ml) wurde immer von derselben Person, einem Mitarbeiter der Klinik für Schweine der LMU München, kaudal der Ohrbasis, subkutan verabreicht. Diese Person erhielt die für die Impfung erforderliche Sicherheitsschulung durch einen Mitarbeiter der Fa. Zoetis Deutschland GmbH und benutzte den Sicherheitsinjektor Sekurus[™] (Simcro Limited, New Zealand). Der Sicherheitsinjektor soll durch seine integrierten Sicherheitssysteme eine versehentliche Selbstinjektion verhindern und die exakte Lokalisation der Impfstoffapplikation, sowie das richtige Injektionsvolumen gewährleisten. Um die Impfstoffapplikation zu erleichtern wurde das Sekurus[™]-Tube-System verwendet, bei dem die Impfstoffflasche um den Hals getragen und über einen Schlauch mit der Impfpistole verbunden ist (siehe Abbildung 4). So wird sichergestellt, dass keine Luft angesaugt und bei jedem Schwein das richtige Impfstoffvolumen appliziert wird.



Abbildung 4 Sekurus[™] - Sicherheitsinjektor (Tube-System)

Der Impfstoff wurde in der Klinik für Schweine bei 6-8°C aufbewahrt und im Fahrzeug in einer Kühlbox zur Versuchseinrichtung transportiert. Etwa eine Stunde vor der Impfstoffapplikation wurde der Impfstoff aus der Kühlbox herausgenommen und auf Umgebungstemperatur (ca. 18°C) erwärmt.

Für die erste Impfung (V1) der IC12 Gruppe in der achten LW wurde eine Nadel der Größe 1,6x13mm verwendet, um eine versehentliche intramuskuläre Injektion zu vermeiden. Für alle anderen Impfzeitpunkte wurden Nadeln mit 1,6x19mm Größe verwendet.

1.5.4. Gewichtsentwicklung und Mastdatenerhebung

Alle Tiere wurden von Mitarbeitern der LfL Schwarzenau betriebsbedingt ab der vierten LW alle zwei Wochen bis kurz vor dem Schlachttermin gewogen. Der Beginn der Erhebung der Mastleistungsdaten begann jeweils bei einem Lebendgewicht von ca. 30kg ($30,4 \pm 1,76\text{kg}$) und endete bei ca. 120kg Lebendgewicht ($120,89 \pm 7,14\text{kg}$) kurz vor der Schlachtung (durchschnittliche Prüftage: $90,55 \pm 5,83$ Tage). Eine Bucht der Gruppe IC12 konnte hinsichtlich der Futtermittelverwertung und den durchschnittlichen täglichen Tageszunahmen aufgrund eines Problems mit der Sensorerkennung nicht ausgewertet werden, weshalb in dieser Gruppe lediglich die Daten von jeweils zwölf Tieren ausgewertet wurden.

1.5.5. Verhaltensbeobachtung

In der LfL Schwarzenau wurden zum Zeitpunkt der zweiten Impfung (V2) und zwei Wochen nach der zweiten Impfung, zur Nachkontrolle (NK), alle Tiere der Gruppen IC12, IC16 und IC18 einer 60 minütigen Verhaltensbeobachtung unterzogen. Die Gruppe IC18X im separaten Stallgebäude wurde hinsichtlich des Verhaltens nicht untersucht. Die Beobachtungen erfolgten durch insgesamt drei Personen, ohne die Buchten zu betreten, wobei jede Person das Verhalten zweier Buchten zeitgleich dokumentierte. Dabei wurde die Häufigkeit gewisser Verhaltensweisen („Aufreitversuche“, „Aufreiten“, „Kampf“ und „Beißen“) pro Versuchsgruppe per Strichliste gezählt. Die Protokollierung des Verhaltens folgte der Arbeit von ISERNHAGEN (2015), welche das modifizierte Ethogramm nach FÀBREGA et al. (2013) für Aggressions- und Sexualverhalten als Grundlage heranzieht.

Mit der Verhaltensbeobachtung wurde erst ca. 10min nach dem Betreten des Stalles begonnen, um einen Gewöhnungseffekt der Tiere an die Beobachter zu erzielen. Alle Verhaltensbeobachtungen fanden zwischen 11:00 und 13:00 statt. Die Definitionen der verschiedenen Verhaltensmuster sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 Ethogramm nach ISERNHAGEN (2015) modifiziert nach FÀBREGA et al. (2013)

Verhalten	Beschreibung	Anzahl der auftretenden Verhaltensweisen pro 60 minütiger Beobachtungszeit
Aufreitversuch	Aufreiten mit beiden Vordergliedmaßen auf anderes Tier dann Abbruch	
Aufreiten	Aufreiten dauert > 30 Sek ohne Abbruch	
Kampf	Schieben, Kopfschläge, Beißen	
Beißen	Beißen in Schwanz, Ohren, Beine	

Die Unterscheidung in „Aufreitversuch“ und „Aufreiten“ erschien sinnvoll, da auch weibliche Tiere „Aufreitversuche“ zeigen, das sexuell motivierte „Aufreiten“ von männlichen Tieren allerdings deutlich häufiger stattfindet und auch länger andauert als bei weiblichen Tieren (HINTZE et al., 2013).

Dauerte eine Verhaltensweise länger als 30 Sekunden an wurde sie als neue Aktion gewertet. Der Abbruch und das Wiedereinsetzen von Verhaltensweisen wurden als zwei Aktionen gewertet, wenn mindestens 30 Sekunden zwischen beiden Aktionen lagen.

1.5.6. Blutprobenentnahme

Die in der vorliegenden Arbeit ausgewerteten Blutproben wurden am Schlachthof als Stichblut gewonnen. Zum Zeitpunkt der Schlachtung wurde durch Mitarbeiter der Klinik für Schweine von allen Versuchstieren mittels Serum-Primavetten® Stichblut aufgefangen. Zusätzlich wurden zufällig ausgewählte Blutproben von Tieren der Gruppen IC12, IC16, IC18 und IC18X die im Rahmen des Herdengesundheitsmonitorings durch den bestandsbetreuenden Tierarzt gewonnen wurden, analysiert. Diese wurden ebenfalls mittels Serum-Primavetten® gewonnen. Alle Blutproben wurden nach Entnahme

abzentrifugiert (3000U/min) und das Serum bei -20°C tiefgefroren. Alle für die vorliegende Arbeit auszuwertenden Blutproben wurden per Express-Lieferung zum Institut für Verhaltensphysiologie von Nutztieren der Universität Hohenheim versandt, um die Serum-Testosteronkonzentration bzw. die absolute GnRH-Bindung zu detektieren.

In Rahmen der Datenauswertung wurden Grenzwerte für die GnRH-Bindung sowie für die Testosteronkonzentrationen gebildet, welche den Erfolg oder den Misserfolg einer Impfung klassifizieren sollen. GnRH-Bindungen über 17% in Kombination mit Testosteronkonzentrationen unter 1,5ng/ml wurden als erfolgreiche Impfung kategorisiert, GnRH-Bindungen unter 17% bzw. Testosteronkonzentrationen über 1,5ng/ml als vermutlich nicht erfolgreich.

1.5.6.1. Testosteronbestimmung im Serum (Radio Immuno Assay-RIA)

Die Messungen der Testosteronkonzentrationen wurden in Kooperation mit Prof. Dr. Ulrike Weiler und Mitarbeitern der Universität Hohenheim durchgeführt, wobei dem Testprinzip die radioimmunologische Messung der Testosteronkonzentration nach Extraktion aus dem Blutserum zu Grunde liegt.

Dazu wird die Probe mit einer konstanten Menge an Tritium-markiertem Testosteron (^3H -Testosteron) inkubiert, welches mit dem endogenen Testosteron um die Bindungsstellen des - in ebenfalls definierter Menge inkubierten - polyklonalen Antiserums (Testosteron-3CMO-BSA) konkurriert. Die nicht an Antikörper gebundenen endogenen bzw. markierten Hormone werden durch Zugabe von Aktivkohle von den gebundenen getrennt (Bound/Free-Trennung). Der gebundene Anteil des Tritium-markierten Testosterons kann detektiert und anhand einer Eichkurve als Messwert angegeben werden, wobei die Anzahl an counts per minute (cpm) Rückschlüsse auf die tatsächliche Hormonkonzentration gibt. Je weniger cpm ermittelt wurden, desto größer war der Anteil an nicht radioaktiv markiertem Hormon in der Probe.

1.5.6.2. Bestimmung der GnRH-Bindung im Serum

Auch die GnRH-Bindungs-Messungen wurden in Kooperation mit Prof. Dr. Ulrike Weiler und Mitarbeitern der Universität Hohenheim durchgeführt.

Dabei wird die Aminosäure Tyrosin des GnRH-Moleküls radioaktiv markiert (125-Jod) und mit einer definierten Menge Serum (5 μl) im Kühlschrank für 24h inkubiert. Bei geimpften Tieren können die im Serum vorhandenen Antikörper

spezifisch an das GnRH-Molekül binden. Um den nicht gebundenen Anteil markierter GnRH-Moleküle aus der Probe zu entfernen, wird dieser mit einer Aktivkohlesuspension behandelt, welche bis zu einem Molekulargewicht von 7000 Molekülen adsorbiert. Durch anschließendes Zentrifugieren setzt sich der nicht gebundene 125-GnRH Anteil mit der Kohle ab und im Überstand können Antikörper-125-GnRH-Komplexe detektiert werden. Ein kleiner Teil des 125-GnRHs wird unspezifisch durch Plasmaproteine gebunden.

1.5.7. Kotprobenentnahme und Testosteronbestimmung aus dem Kot

Von allen zehn Markertieren jeder Gruppe (C, E, IC12, IC16, IC18), inklusive den acht Tieren der Gruppe IC18X, wurden ab der 12. LW beginnend bis zur 22. LW (Gruppe IC18X bis zur 38. LW), alle zwei Wochen tierindividuell zuordenbare Kotproben gesammelt, um die testikuläre Aktivität anhand der fäkalen Testosteronkonzentration über einen längeren Zeitraum zu verfolgen. Falls nicht spontan Kot abgesetzt wurde, wurden die Schweine per Hand an der Schwanzbasis fixiert und die Kotproben mittels Einmalhandschuhen aus dem Rektum entnommen. Alle Kotproben wurden in Plastikgefäße tiefgefroren bei -20°C gesammelt und am Ende des Versuches für die Untersuchungen und weiterführende Diagnostik per Express Versand zum Institut für Verhaltensphysiologie von Nutztieren der Universität Hohenheim transportiert. Jedoch wurden nicht alle zehn Proben jeder Versuchsgruppe zur fäkalen Testosteronkonzentrationsbestimmung herangezogen.

Das Messverfahren zur fäkalen Testosteronkonzentrations-Bestimmung entspricht dem in der Untersuchung von WESOLY et al. (2015) beschriebenen Verfahren, basierend auf der radioimmunologischen Detektion der fäkalen Testosteronkonzentration nach vorheriger zweistufiger Extraktion.

1.5.8. Schlachtung

Alle Tiere wurden am betriebseigenen Schlachthof der LfL Schwarzenau geschlachtet. Die Schlachtung der Tiere aus den Gruppen C, E, IC12, IC16 und IC18 fand an zwei Schlachterminen (S1, S2) über einen Zeitraum von drei Wochen statt, bei einem mittleren Schlachtkörpergewicht (warm) von $97,28 \pm 6,61\text{kg}$ und einer durchschnittlichen Mastdauer von $95,5 \pm 7,8$ Tagen. Aufgrund der niedrigen Schlachtkapazität des Schlachthofes und der hohen Tierzahl zum Zeitpunkt S2 verglichen zu S1, wurde S2 auf zwei Schlachtzeitpunkte verteilt,

wobei zwischen beiden Schlachtungen ein Tag lag. Bei der Auswertung der Daten werden allerdings beide Schlachttermine zu einem gemeinsamen Schlachttermin S2 zusammengefasst. Die Tiere der Gruppe IC18X wurden im Alter von 39 LW an einem Schlachtzeitpunkt (S3), beim ersten erkennbaren Wiederauftreten von Eberverhalten einzelner Tiere, geschlachtet.

Die Betäubung der Tiere am Schlachthof erfolgte mittels Elektrobetäubung und anschließendem Ausbluten.

1.5.9. Penisbonitur und Vermessung der akzessorischen Geschlechtsorgane

Da die Penisse im regulären Schlachtprozess mit den Geschlechtsorganen vom Schlachtkörper entfernt werden, konnten diese direkt am Schlachtband tierindividuell zuordenbar gesammelt werden. Die weitere Präparation und Befundung folgte in der Klinik für Schweine der LMU München und orientiert sich an der Arbeit von WEILER et al. (2016).

Um die Penisbonitur vornehmen zu können wurde der vom Präputium eingeschlossene Penis in eine kaudale Position geschoben und anschließend das Präputium cranial davor vorsichtig durchtrennt, ohne die *Glans penis* oder *Pars libra penis* zu verletzen. Danach wurde die *Pars libra penis* auf die Anzahl und den Schweregrad der Verletzung untersucht. Dabei wurden Wunden, Narben, Hämatome, sowie Kammveränderung (normal, hypertrophisch, hypertrophisch mit Läsionen) unterschieden. Außerdem wurde die Größe der Wunden und Narben erfasst und Größengruppen zugeordnet (<0,3cm; 0,3-0,6cm; >0,6-1cm; >1cm). Weitere Besonderheiten wie Siedeartefakte, welche durch heraushängende Penisse beim Brühvorgang entstehen können, sowie Teilverluste oder Abrasionen an der *Glans penis*, welche für sexuelle Aktivität sprechen, wurden falls vorhanden, ebenfalls notiert.

In weiterer Folge wurden am Schlachtband die Hoden, sowie akzessorischen Geschlechtsorgane (*Glandula vesicularis* - Samenblasendrüse, *Glandula bulbourethralis* - Bulbourethraldrüse und Prostata) von 68 Tieren tierindividuell zuordenbar gesammelt und vermessen und diese anschließend für histologische Untersuchungen zum Lehrstuhl der Anatomie, Histologie und Embryologie der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München transportiert. Dort wurden die Proben für weitere Untersuchungen verwendet,

welche nicht Thema dieser Arbeit sind und daher an dieser Stelle nicht näher ausgeführt werden.

In Gruppe IC18 konnte bei einem Tier aufgrund einer verloren gegangenen Probe keine Hodenlängenmessung vollzogen werden, weshalb bei der Hodenlängenmessung 17 Tieren und bei allen restlichen Parametern 18 Tiere untersucht wurden.

1.5.10. Fettprobenentnahme

Direkt am Schlachtband wurden von jedem Schlachtkörper Fettproben entnommen, welche einerseits der Geruchsanalytik zur Bestimmung des Ebergeruches (Androstenon und Skatol) und andererseits der Bestimmung des Fettsäuremusters dienen.

1.5.10.1. Fettprobenentnahme zur Geruchsanalytik

Um sowohl Eber als auch geimpfte Tiere hinsichtlich des Ebergeruches untersuchen zu können, wurden allen Schlachtkörpern, außer denen aus Gruppe C, Nackenfettproben entnommen. Kastraten wurden nicht beprobt, da bereits mehreren Studien zeigen, dass diese niedrigere Androstenonwerte und keinen Ebergeruch aufweisen (BONNEAU et al., 1992; DUNSHEA et al., 2001; HENDRIKS & KING, 2002; ZAMARATSKAIA et al., 2008a; PAULY et al., 2009).

Mittels einer selbst modifizierten Lochsäge (siehe Abbildung 5), welche auf einen herkömmlichen Akku-Bohrer aufgesetzt werden konnte, wurden jeweils zwei Fettstanzproben (ca. 25 x 30mm) aus der rechten Schlachtkörperhälfte auf Höhe des 3.



Abbildung 5 Modifizierte Lochsäge zur Fettprobenentnahme

bzw. 4. Halswirbels herausgestanzt.

Beide Proben wurden in verschließbare

Plastikgefäße verpackt, wobei eine als Rückstellprobe bei -20°C gelagert und die andere tiefgefroren zur weiteren Diagnostik zum ELFI Analytik GbR-Labor (Bonn) versandt wurde.

1.5.10.2. Geruchsanalytik

Die Bestimmungen der Androstenon und Skatolkonzentrationen, welche hauptsächlich für den Ebergeruch verantwortlich sind, wurden am ELFI Analytik GbR-Labor (Bonn) durchgeführt. Als analytisches Verfahren wurde die Stabile-Isotopen-Verdünnungsanalyse nach FISCHER et al. (2011) angewandt. Dabei kann durch Zugabe einer definierten Menge an internen Standards (stabilisotopenmarkierte Verbindungen wie deuteriummarkierten Isotopomere d3-Androstenon oder d3-Skatol (FISCHER et al., 2011)) zur untersuchenden Probe vor der Extraktion, anhand des Verhältnisses an extrahierten Analyten und internen Standards einerseits auf die absolute Extraktionsausbeute und andererseits, aufgrund anschließender gaschromatographischer Untersuchung, auch auf die Androstenon- bzw. Skatolkonzentration geschlossen werden.

Als Bestimmungsgrenze (Limit of quantification – LOQ) wird vom Labor für die Androstenonkonzentration 60ng/g Fett und für die Skatolkonzentration 1ng/g Fett angegeben.

1.5.10.3. Fettprobenentnahme zur Fettsäureanalytik

Um die Fettbeschaffenheit und das Fettsäuremuster zwischen den verschiedenen Gruppen vergleichen zu können, wurde allen Tieren an einer definierten Stelle im Nackenbereich der linken Schlachtkörperhälfte, eine ca. 15x10cm große Fettprobe entnommen. Die Probenentnahme erfolgte durch Mitarbeiter des MRI, welche auch die weitere Probenbearbeitung durchführten.

1.5.10.4. Fettsäureanalytik

Die Analytik des Fettsäuremusters wurde in Kooperation mit dem Institut für Qualität und Sicherheit bei Fleisch des Max-Rubner-Instituts (MRI) in Kulmbach und Frau Dr. Aneka Bauer durchgeführt.

Die Probenvorbereitung erfolgte nach SCHULTE und WEBER (1989). Dafür wurden die Speckproben homogenisiert und in Anwesenheit von Butylhydroxytoluol (BHT) im Wasserbad geschmolzen. Zur Derivatisierung wurde ein Aliquot des geschmolzenen Fettes mit Trimethylsulfoniumhydroxid (TMSH) in Toluol versetzt. Die so hergestellten Fettsäuremethylester wurden im Anschluss mittels eines Gaschromatographen (GC) (Hewlett Packard 6890) analysiert. Als Trennsäule kam eine J&W Scientific DB-23 Kapillarsäule (Fa. Agilent Technologies Inc. US) (60m Länge, Durchmesser 250µm, 0,25µm

Filmdicke) zum Einsatz. Die Messbedingungen waren wie folgt: Injektionstemperatur 250°C, Trägergas Wasserstoff 1,3mL/min, Split-Injektion (16:0; 18:0; 18:1 cis 9; 18:1 cis 11; 18:2 cis 9,12 Split 1:50, die restlichen Fettsäuren Split 1:10), Injektionsvolumen 1µL, Temperaturprogramm: 80°C (5min), auf 190°C in 2°C pro Minute, auf 220°C in 1°C pro Minute, bei 220°C (20min), Detektor FID, Detektortemperatur: 250°C.

Die Auswertung erfolgte mit der OpenLAB CDS ChemStation Workstation (Fa. Agilent Technologies Inc. US). Die Anteile der einzelnen Fettsäuren wurden über die Peakflächen (Flächenprozent) ermittelt.

1.5.11. Schlachtdatenerhebung

Neben dem Schlachtgewicht wurden am Schlachthof der LfL Schwarzenau noch zahlreiche andere Schlachtdaten erhoben. Darunter die pH-Werte am Kotelettanschnitt eine und 24 Stunden nach der Schlachtung, die Dicke der Speckschichten an verschiedenen Schlachtkörperstellen (Widerrist, Rückenmitte, Lende und Seite), der Hennessy Muskelfleischanteil, die Größe der Fleisch- und Fettflächen, sowie Leitfähigkeitsmessungen 24 Stunden nach der Schlachtung im Schinken und Kotelett.

1.6. Statistische Auswertung:

Zur Auswertung der Ergebnisse wurden sämtliche Daten mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft[®] Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) erfasst und mit der Statistiksoftware SPSS[®] Statistics 23 (IBM SPSS, Chicago, USA) statistisch ausgewertet. Zur Auswahl des geeigneten statistischen Testverfahrens wurde der Shapiro-Wilk Test angewendet, um auf Normalverteilung zu testen, welcher für kleine Stichproben geeignet ist.

Die Testosteronkonzentration und die absolute GnRH-Bindung zum Zeitpunkt der zweiten Impfung und zur Schlachtung, die fäkalen Testosteronkonzentrationen, das Schlachtgewicht, die Schlachtparameter (ausgenommen der Leitfähigkeit im Schinken und im Kotelett 24 Stunden nach der Schlachtung), die Futtermittelverwertung, die Fettsäureparameter (SFA, MUFA, PUFA, IV) und der Jodwert waren normalverteilt, die Androstenon- und Skatolkonzentration, die durchschnittlichen täglichen Tageszunahmen, der IMF-Gehalt, die Leitfähigkeit im Schinken und im Kotelett 24 Stunden nach der Schlachtung, die Anzahl an

Narben und Wunden an Penissen, sowie alle Parameter der akzessorischen Geschlechtsorgane waren nicht normalverteilt.

Bei normalverteilten Daten, mit Ausnahme der fäkalen Testosteronkonzentrationen, wurde mittels zweifaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) der Einfluss von Versuchsgruppe bzw. Schlachtdurchgang, sowie deren Interaktion untersucht. Bei Mehrfachvergleichen zwischen den Gruppen (Post-Hoc Test) wurde das Signifikanzniveau nach Bonferroni-Holm korrigiert (HOLM, 1979). Um Differenzen im Testosteronlevel zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Kot und im Serum innerhalb einer Gruppe statistisch zu vergleichen wurde der verbundene t-Test angewandt. Um die Effekte der Probenentnahmezeit (Zeit) bzw. Versuchsgruppe und Zeit auf die Kot-Testosteronkonzentration zu erfassen wurde ein lineares gemischtes Modell mit einem zufälligen Effekt (Random Intercept) je Tier durchgeführt. Die Korrelation zwischen GnRH-Bindung und Testosteronkonzentration zum Zeitpunkt der Schlachtung wurde mittels Pearson-Korrelation berechnet. Der Einfluss der GnRH-Bindung auf die Serum-Testosteronkonzentration wurde mittels linearer Regression analysiert.

Die Androstenon- und Skatolkonzentration, die Leitfähigkeit im Schinken und im Kotelett 24 Stunden nach der Schlachtung, die Anzahl an Narben und Wunden an den Penissen und die Größenmessungen der Hoden und akzessorischen Geschlechtsorgane wurden mit Hilfe nicht-parametrischer Tests ausgewertet. Für Vergleiche zwischen zwei Gruppen wurde der Mann-Whitney-Test verwendet; für Vergleiche zwischen mehr als zwei Gruppen der Kruskal-Wallis-Test. Die Korrelation zwischen Androstenon und Skatol sowie zwischen diesen beiden Parametern und der Serum-Testosteronkonzentration wurde mittels Spearman-Korrelation berechnet. Die Korrelation zwischen der Testosteronkonzentration und der Hodengröße sowie der Größe der akzessorischen Geschlechtsorgane wurde mittels Pearson-Korrelation berechnet. Der Einfluss der Serum-Testosteronkonzentration auf die Größe der Hoden und akzessorischen Geschlechtsorgane wurde mittels Regression analysiert.

Um den Effekt der Gruppe, Schlachtzeitpunktes, sowie deren Interaktion auch auf die nicht-normalverteilten Daten der durchschnittlichen Tageszunahmen, dem IMF-Gehalt, sowie der Leitfähigkeit im Schinken und im Kotelett statistisch auszuwerten, wurde eine rang-transformierte zweifaktorielle ANOVA durchgeführt (CONOVER & IMAN, 1981).

Um die Häufigkeitsverteilung von Veränderungen an den Penissen aufzuzeigen, wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet. Die Ergebnisse der Verhaltensbeobachtung wurden nicht statistisch ausgewertet sondern lediglich deskriptiv beschrieben. Sofern nicht anders beschrieben galten p-Werte $<0,05$ als signifikant.

2. Teilversuch 2: Publikation: Penile Injuries in Immunocastrated and Entire Male Pigs of One Fattening Farm

Simon Reiter¹, Susanne Zöls¹, Mathias Ritzmann¹, Volker Stefanski² and Ulrike Weiler^{2,*}

¹ Clinic for Swine, Ludwig-Maximilians-University Munich, Sonnenstrasse 16, 85764 Oberschleissheim, Germany; s.reiter@med.vetmed.uni-muenchen.de (S.R.); s.zoels@lmu.de (S.Z.); schweineklinik@med.vetmed.uni-muenchen.de (M.R.)

² Institute of Animal Science, Hohenheim University, Schloss Hohenheim 1, 70599 Stuttgart, Germany; volker.stefanski@uni-hohenheim.de

* Correspondence: weiler@uni-hohenheim.de; Tel.: +49-711-459-22916; Fax: +49-711-459-22498

Animals 7(9): 71

3. Teilversuch 3: GnRH-Vakzination unter Feldbedingungen

3.1. Ziel der Untersuchung

Ziel war es Haut- und Penisverletzungen sowie Androstenon- und Skatolkonzentrationen von GnRH-vakzinierten Ebern (Improvac[®], Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) mit intakten Ebern innerhalb eines Praxisbetriebes vergleichend zu untersuchen. Anhand dieser Ergebnisse sollten die Ergebnisse von Teilversuch 1 unter Feldbedingungen überprüft werden.

3.2. Versuchsbetrieb & Haltungsbedingungen

Bei dem ausgewählten Praxisbetrieb handelt es sich um einen geschlossenen Betrieb mit 180 Zuchtsauen und Eigenremontierung im zehn Tagesrhythmus (14 Gruppen). Die Ferkel wurden im Alter von vier Wochen abgesetzt und in die Ferkelaufzucht verbracht. Von dort wurden sie mit einem durchschnittlichen Gewicht von $37,1 \pm 1,0\text{kg}$ in der 14. Lebenswoche (LW) in den Maststall mit einer Gruppengröße von $n=34$ Tieren pro Bucht eingestallt. Die Tiere standen auf einem Vollspaltenboden und hatten vier Nippeltränken zur ständigen Wasseraufnahme zur Verfügung. Gefüttert wurde über Breiautomaten (Vormast: 13,41 ME; 16,69% Rp; Endmast: 13,19 ME; 15,80% Rp).

Der Versuchszeitraum erstreckte sich von Juli bis Oktober 2016, wobei als Versuchsbeginn die 15. LW (Zeitpunkt der ersten Impfung-V1) der Versuchstiere festgesetzt wurde.

3.3. Versuchsablauf

3.3.1. Gruppeneinteilung und Randomisierung

Bei den männlichen Ferkeln einer Abferkelgruppe wurde auf die Kastration in der ersten Lebenswoche verzichtet. Diese Tiere wurden bei der routinemäßigen Masteinstellung in der 14. LW in drei Buchten zu je 34 Tieren (Bucht 1: $n=36$) eingestallt. Bucht 1 und 2 wurden der Impfgruppe ($n=70$) zugeteilt und zweimalig mittels der GnRH-Vakzine (Improvac[®], Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) entsprechend den Herstellerangaben immunisiert. Die Tiere der Bucht 3 verblieben intakte Eber bis zur Schlachtung ($n=34$).

3.3.2. Impfung

Die Tiere der Impfgruppe wurden entsprechend den Herstellerangaben mit dem Präparat Improvac[®] (Zoetis Deutschland GmbH, Berlin, 2ml subkutan, kaudal der Ohrbasis) zweimalig in der 15. und 19. LW vakziniert. Das weitere Vorgehen entspricht demselben wie in Kapitel 1.5.3, Material und Methoden, beschrieben.

3.3.3. Verhaltensbeobachtung & Hautbonitur

Zum Zeitpunkt der zweiten Impfung (V2) und zwei Wochen nach der zweiten Impfung in der 21. LW zur Nachkontrolle (NK), wurden alle Tiere der drei Buchten einer 60 minütigen Verhaltensbeobachtung unterzogen. Die Beobachtungen erfolgten wie bereits in Kapitel 1.5.5, Material und Methoden, beschrieben.

Zudem wurden zu den Zeitpunkten V1, V2 und NK die Hautverletzungen modifiziert nach dem Score von BÜNGER et al. (2011) tierindividuell auf Buchtenbasis erhoben.

Die Notwendigkeit zur Modifizierung des Bonitieringsschlüssels zeigen die Ergebnisse von ISERNHAGEN (2015). Diese ergeben, dass der Großteil aller Tiere drei bis zehn Kratzer (Score 1) aufweist (ISERNHAGEN, 2015), weshalb eine weitere Unterteilung dieser Kategorie in der vorliegenden Arbeit sinnvoll erschien.

Score 0 = keine oder wenige kleine Verletzungen (< 3)

Score 1 = mehrere kleine Kratzer (3 bis 5) oder 1 größere Hautverletzung

Score 2 = viele kleine (>5-10) oder mehrere größere Hautverletzungen (2-4)

Score 3 = sehr viele kleine (>10) oder viele größerer Hautverletzungen (>4)

Score 4 = tiefe Verletzungen, offene Stellen, Geschwüre/blutende Wunden

3.3.4. Schlachtung

Alle Tiere wurden gewichtsabhängig in drei Schlachtpartien in einem Zeitraum zwischen der 25. und 29. LW geschlachtet. Die Betäubung der Tiere am Schlachthof erfolgte mittels CO₂-Betäubung und anschließendem Ausbluten.

Bei allen Versuchstieren wurde das Präputium inkl. Penis, das im regulären Schlachtprozess mit den Geschlechtsorganen entfernt wird, gesammelt und die Penisse auf Verletzungen entsprechend Kapitel 1.5.9 bonitiert. Zudem wurden direkt am Schlachtband von jedem Schlachtkörper Fettproben entsprechend

Kapitel 1.5.10.1 entnommen. Diese dienten zur Bestimmung der Androstenon- und Skatol-Konzentration (entsprechend Kapitel 1.5.10.2).

3.4. Statistische Auswertung

Die Daten wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft[®] Excel 2010 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) erfasst und mit der Statistiksoftware SPSS[®] Statistics 23 (IBM SPSS, Chicago, USA) statistisch ausgewertet. Zur Auswahl des geeigneten statistischen Testverfahrens wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test angewendet, um auf Normalverteilung zu testen.

Da sowohl die Androstenon- und Skatolkonzentration, als auch die Anzahl der Narben und der Wunden nicht normalverteilt waren, wurden nicht-parametrische Tests, wie der Kruskal-Wallis-Test und der Mann-Whitney-Test, angewandt. Die Korrelation zwischen der Androstenon- und Skatolkonzentration wurde mittels Spearman-Korrelationskoeffizienten berechnet. Um die Häufigkeitsverteilung von Veränderungen an den Penissen aufzuzeigen, wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet. Die Ergebnisse der Verhaltensbeobachtung sowie der Hautbonitur wurden nicht statistisch ausgewertet sondern lediglich deskriptiv beschrieben.

Sofern nicht anders beschrieben galten p-Werte $<0,05$ als signifikant.

IV. ERGEBNISSE

1. Teilversuch 1: Einfluss verschiedener Impfzeitpunkte unter standardisierten Bedingungen

In Teilversuch 1 (standardisierte Bedingungen) wurden Daten von insgesamt 23 Kastraten (C), 24 Ebern (E), und 79 immunokastrierten Ebern (IC) (n=126) statistisch ausgewertet. Zwei Tiere aus den Gruppen C und IC18X verendeten krankheitsbedingt während des Versuches und mussten deshalb aus der Datenauswertung ausgeschlossen werden. Nach den Impfungen wurden keine unerwünschten Gewebereaktionen oder sonstige impfbedingte Nebenwirkungen an den IC-Tieren beobachtet.

1.1. Verhaltensbeobachtung

Die Verhaltensbeobachtungen wurden lediglich bei den immunokastrierten Tieren der Gruppen IC12, IC16 und IC18 durchgeführt, wobei die folgenden Ergebnisse Live-Beobachtungen (60 minütige Beobachtungszeit) an den Beobachtungszeitpunkten V2 (zweite Impfung) und NK (zwei Wochen nach V2) repräsentieren.

In den Gruppen IC12, IC16 und IC18 sanken die Aktionen „Aufreitversuche“, „Aufreiten“ und „Kampf“ von V2 zu NK. In der Gruppe IC18 trat weder zum Zeitpunkt V2 noch zu NK „Aufreiten“ auf. Bei der Aktion „Beißen“ konnte zu beiden Zeitpunkten V2 und NK keine einheitliche Tendenz festgestellt werden (siehe Abbildung 6).

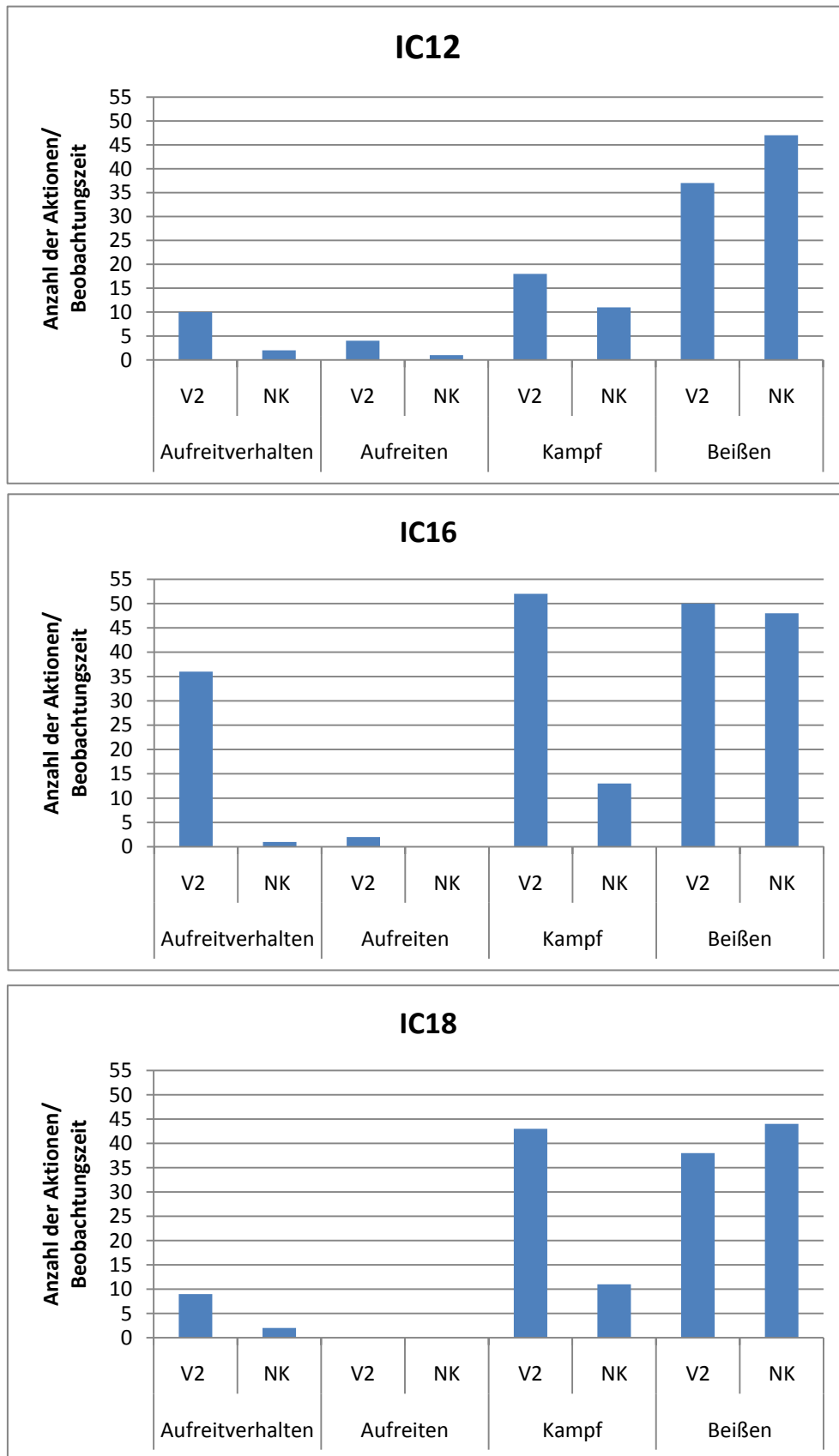


Abbildung 6 Anzahl der Verhaltensparameter „Aufreitverhalten“, „Aufreiten“, „Kampf“ und „Beißen“ der Gruppen IC12, IC16 und IC18 zur zweiten Impfung (V2) und Nachkontrolle (NK)

1.2. GnRH-Bindung und Serum-Testosteronkonzentration

Die GnRH-Bindungen und Testosteronkonzentrationen im Serum wurden zum Zeitpunkt V2 von Impftieren (IC12: n=5, IC16: n=5, IC18: n=6, IC18X: n=7) und zum Zeitpunkt der Schlachtung (S) von allen Versuchstieren (n=126) bestimmt (siehe Tabelle 3 und Abbildung 7).

Zum Zeitpunkt V2 zeigte die Gruppe IC12 eine niedrigere mittlere Testosteronkonzentration als die Gruppen IC16 und IC18 ($0,90 \pm 0,62\text{ng/ml}$ vs. $3,22 \pm 1,56\text{ng/ml}$ und $2,42 \pm 1,33\text{ng/ml}$) und die mittlere absolute GnRH-Bindungskapazität variierte in den IC-Gruppen zwischen $16,79 \pm 7,00\%$ und $24,58 \pm 3,36\%$ ($p > 0,05$). Die Gruppe IC18X wies zu V2 eine höhere mittlere Testosteronkonzentration verglichen zu IC18 auf (IC18X: $5,21 \pm 3,57\text{ng/ml}$ vs. IC18: $2,42 \pm 1,33\text{ng/ml}$) ($p > 0,05$) und die absolute GnRH-Bindung unterschied sich zwischen beiden Gruppen nicht signifikant (IC18X: $17,51 \pm 9,09\%$ vs. IC18: $24,58 \pm 3,36\%$) ($p > 0,05$). Weder die Versuchsgruppe, noch der Schlachtdurchgang hatten einen signifikanten Einfluss auf die Testosteronkonzentration bzw. die GnRH-Bindung zum Zeitpunkt V2 ($p > 0,05$). In den Gruppen IC16 und IC18 sank die mittlere Testosteronkonzentration von V2 zu S signifikant ($p < 0,05$).

Zum Zeitpunkt S zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Serum-Testosteronkonzentrationen der verschiedenen Versuchsgruppen ($p < 0,001$), im Gegensatz zum Schlachtdurchgang ($p > 0,05$). Sowohl die Versuchsgruppe, als auch der Schlachtdurchgang zeigten einen signifikanten Einfluss auf die absolute GnRH-Bindung zum Zeitpunkt S (Versuchsgruppe: $p < 0,001$; Schlachtdurchgang: $p < 0,05$).

Zum Zeitpunkt S korrelierte in den IC-Gruppen (ausgenommen IC18X) die Testosteronkonzentration negativ mit der absoluten GnRH-Bindung ($r = -0,675$; $p < 0,001$) und die Regressionsberechnung zeigte dabei einen signifikanten Einfluss der absoluten GnRH-Bindung auf die Testosteronkonzentration ($B = -0,196$; $SE(B) = 0,026$; $p < 0,001$). Zum Zeitpunkt S bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den IC-Gruppen hinsichtlich der mittleren Testosteronkonzentration ($p > 0,05$).

Die Gruppe C zeigte die niedrigsten Testosteronwerte zum Zeitpunkt S, wohingegen die Gruppe E hinsichtlich dieses Parameters eine große Streuung zwischen $0,51\text{ng/ml}$ und $14,39\text{ng/ml}$ zeigte. Die durchschnittlichen GnRH-Bindungen der Gruppen C und E lagen unter 17% (C: $4,85 \pm 0,24\%$ vs. E: $4,88 \pm$

0,44%). Im Gegensatz dazu zeigten alle ICs durchschnittliche GnRH-Bindungen über 17% mit einem Ansteigen von Gruppe IC12 ($30,24 \pm 10,13\%$) zu IC18 ($44,20 \pm 6,12\%$) und einem gegensätzlichen Abfall der Testosteronkonzentration von $2,88 \pm 4,26\text{ng/ml}$ (IC12) zu $0,35 \pm 1,27\text{ng/ml}$ (IC18).

Tabelle 3 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der Testosteronkonzentrationen und GnRH-Bindungen zu den Zeitpunkten V2 (zweite Impfung) und S (Schlachtung) zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen

Zeit		V2			S	
Gruppe	n	Testosteron (ng/ml)	GnRH- Bindung % (absolut)	n	Testosteron (ng/ml)	GnRH- Bindung % (absolut)
C	-	--	--	23	$0,06 \pm 0,17^A$	$4,85 \pm 0,24^A$
E	-	--	--	24	$6,63 \pm 3,94^B$	$4,88 \pm 0,44^A$
IC12	5	$0,90 \pm 0,62^a$	$16,79 \pm 7,00$	24	$2,88 \pm 4,26^{Aa}$	$30,24 \pm 10,13^B$
IC16	5	$3,22 \pm 1,56^a$	$20,31 \pm 8,91$	24	$0,71 \pm 1,34^{Ab}$	$39,58 \pm 7,58^C$
IC18	6	$2,42 \pm 1,33^a$	$24,58 \pm 3,36$	24	$0,35 \pm 1,27^{Ab}$	$44,20 \pm 6,12^C$
IC18X	7	$5,21 \pm 3,57^a$	$17,51 \pm 9,09$	7	$11,98 \pm 8,66^{Ca}$	$41,55 \pm 9,41^C$

Werte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben innerhalb einer Reihe bzw. Werte mit unterschiedlichen Großbuchstaben innerhalb einer Spalte unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$)

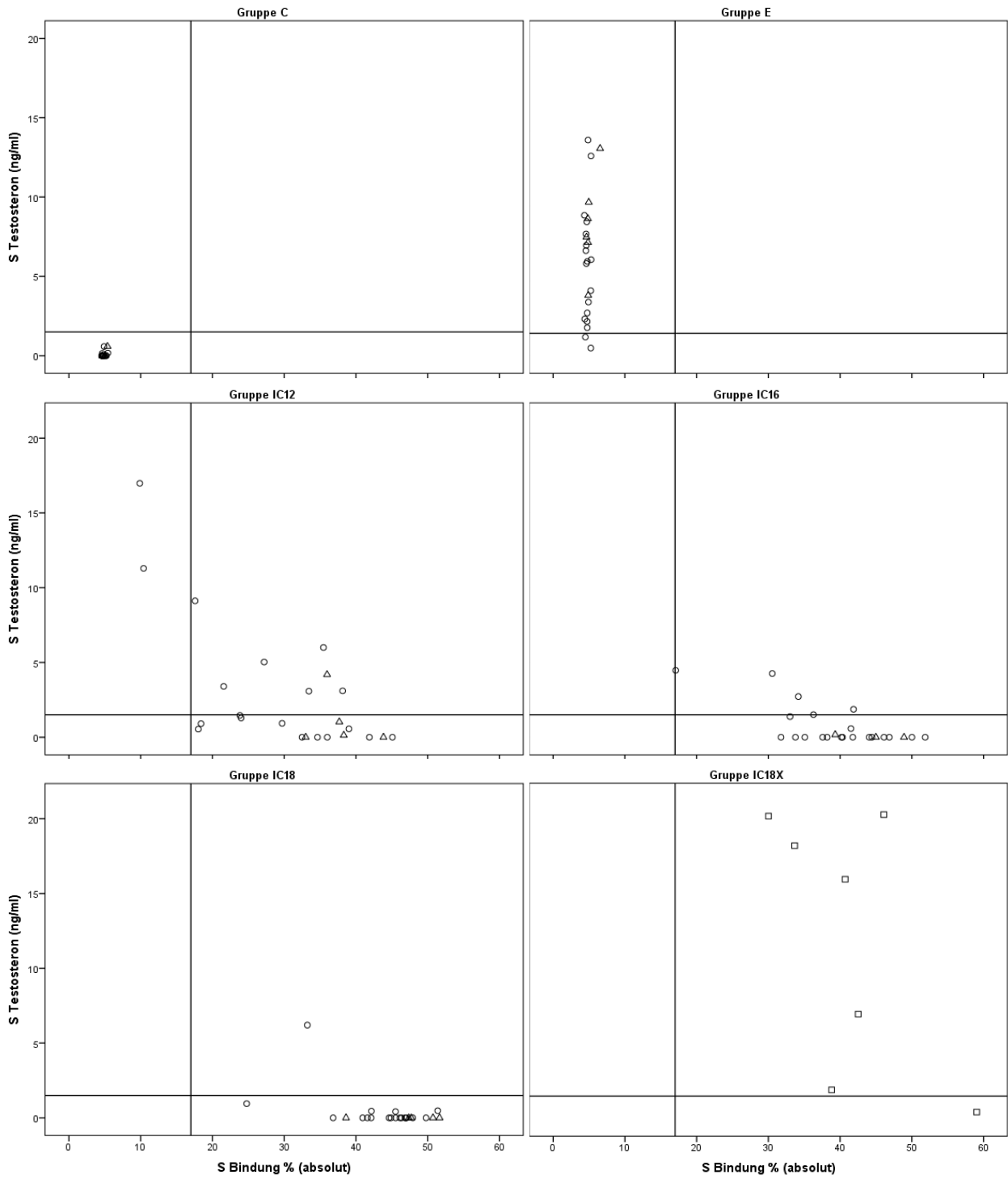


Abbildung 7 Testosteronkonzentrationen und GnRH-Bindungen zum Zeitpunkt der Schlachtung S1(Δ), S2 (O) und S3 (\square) mit den Grenzlinien für Testosteron (1,5ng/ml) und GnRH-Bindung (17%)

1.3. Testosteronkonzentration im Kot

Bei jeweils fünf Tieren der Gruppen C, IC12, IC16 und IC18, sowie vier Tieren der Gruppe E und sieben Tieren der Gruppe IC18X wurden die Testosteronkonzentrationen aus dem Kot alle zwei Wochen bis zur Schlachtung bestimmt (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9).

In der Gruppe E stieg die mittlere Testosteronkonzentration kontinuierlich von LW12 ($20,21 \pm 6,57\text{ng/g}$) zu LW22 ($37,21 \pm 14,99\text{ng/g}$), mit einer kurzen Unterbrechung von LW16 zu LW18, an. Die Gruppe C zeigte signifikant niedrigere Testosteronwerte (zwischen $10,22 \pm 1,15\text{ng/g}$ (LW16) und $12,24 \pm 2,63\text{ng/g}$ (LW14)) verglichen zur Gruppe E ($p < 0,05$). In den IC-Gruppen nahm die fäkale Testosteronkonzentration von V2 zu NK signifikant ab ($p < 0,05$). Die Testosteronkonzentrationen zu den jeweils unterschiedlichen NK Zeitpunkten der IC-Gruppen sind vergleichbar zu denen der Gruppe C. Zwischen LW30 und LW38 stieg die fäkale Testosteronkonzentration der IC18X Gruppe wieder an und erreichte am Ende vergleichbare Werte zur Gruppe E in LW22.

Die ANOVA mit Messwiederholung und Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigte, dass lediglich Zeit x Gruppe einen signifikanten Einfluss auf die Testosteronkonzentration im Kot hatte ($df=6,98$; $F=3,32$; $p=0,008$), aber nicht die Zeit ($df=1,40$; $F=1,85$; $p=0,180$).

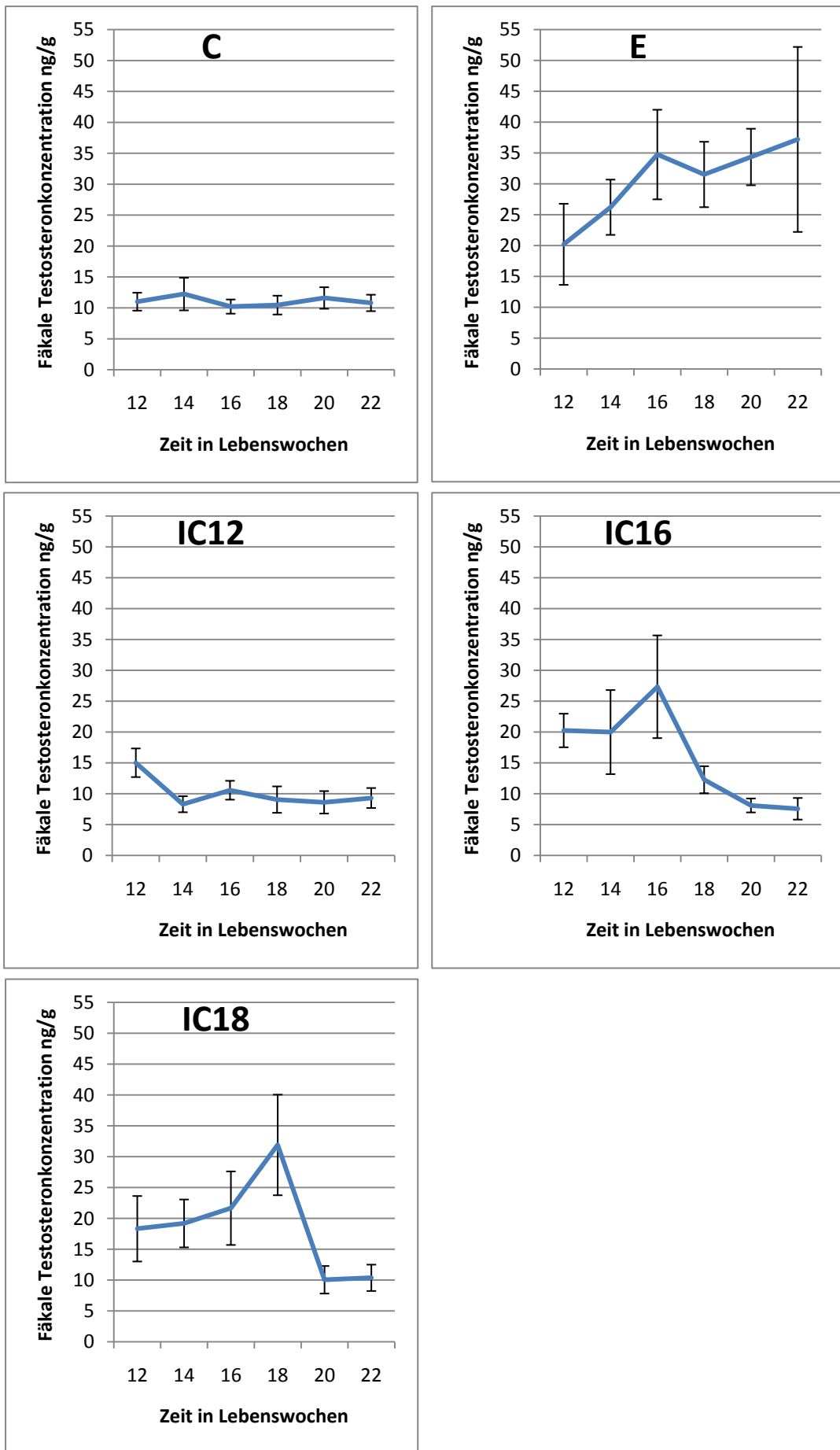


Abbildung 8 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der fäkalen Testosteronkonzentration (ng/g) der Gruppen C, E, IC12, IC16 und IC18 von LW12 bis LW22

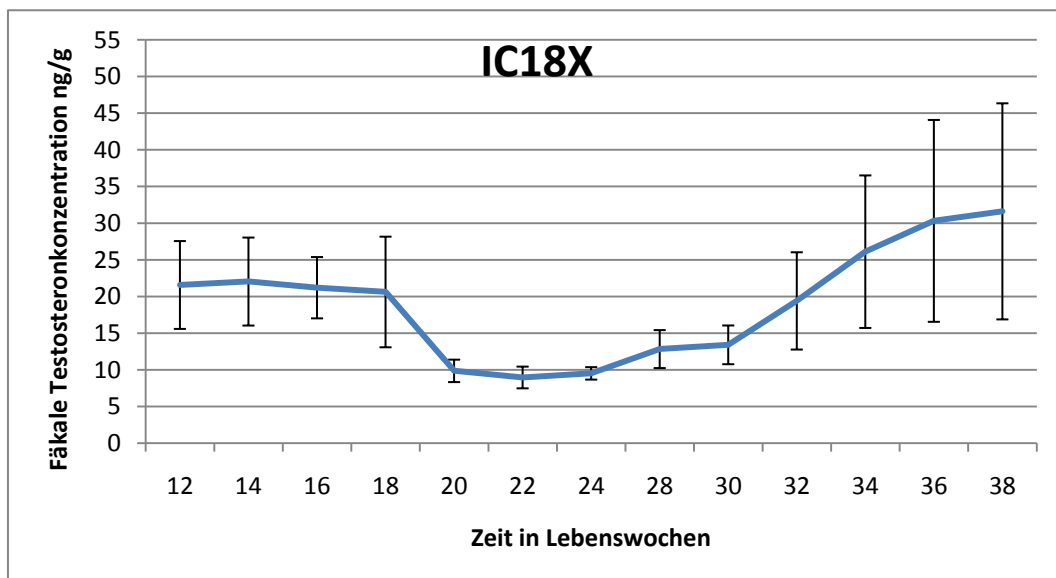


Abbildung 9 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der fäkalen Testosteronkonzentration (ng/g) der Gruppe IC18X von LW12 bis LW38

1.4. Wachstumsleistung, Fett- und Schlachtparameter

Die Ergebnisse der Wachstumsleistung, Fettqualität sowie der erhobenen Schlachtparameter sind in Tabelle 4, Tabelle 5, Tabelle 6 und Tabelle 7 dargestellt. Insgesamt wurden 126 Tiere statistisch ausgewertet wobei für die Gruppe IC18X keine Wachstums- und Schlachtparameter erfasst werden konnten. Außerdem wurden hinsichtlich der Futtermittelverwertung (FMV) und den durchschnittlichen Tageszunahmen (dTZN) in Gruppe IC12 jeweils lediglich zwölf Tiere ausgewertet.

1.4.1. Wachstumsleistung

Die FMV unterschied sich über die gesamte Mastperiode signifikant zwischen den Versuchsgruppen, wobei die Gruppe E im Durchschnitt den niedrigsten Wert ($2,01 \pm 0,11\text{kg/kg}$) und die Gruppe IC12 den höchsten Wert ($2,40 \pm 0,22\text{kg/kg}$) aufwies. Die dTZN unterschieden sich signifikant anhand des Schlachtdurchganges, wobei die Versuchsgruppe hier keine signifikanten Einflüsse hatte (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5).

1.4.2. Fettparameter

Den niedrigsten intramuskulären Fettgehalt (IMF) zeigte die Gruppe E ($1,07 \pm 0,29\%$), den höchsten die Gruppe C ($1,54 \pm 0,33\%$), wohingegen die IC-Gruppen

mit ihren Werten zwischen den beiden Gruppen lagen. Lediglich die Versuchsgruppe hatte einen signifikanten Einfluss auf den IMF-Gehalt.

In Bezug auf die Fettsäurezusammensetzung (SFA-saturated fatty acids (gesättigte Fettsäuren); MUFA-monounsaturated fatty acids (einfach ungesättigte Fettsäuren); PUFA-polyunsaturated fatty acids (mehrfach ungesättigte Fettsäuren) und IV-iodine value (Jodwert)) zeigte sich, dass sowohl die Versuchsgruppe, als auch der Schlachtdurchgang einen signifikanten Einfluss hatten. Lediglich der PUFA-Anteil wurde nicht signifikant durch die Schlachtgruppe beeinflusst. Die Gruppe E zeigte den größten Anteil an PUFAs ($20,4 \pm 2,6\%$) und die niedrigsten Werte an SFAs ($37,9 \pm 1,6\%$) und MUFAs ($41,8 \pm 2,3\%$) im Vergleich zu Kastraten und den ICs, wobei die IC-Gruppen niedrigere PUFAs und höhere SFAs als die Kastraten aufwiesen. Bei den PUFAs zeigte die Gruppe IC18X mit $13,0\%$ den niedrigsten Durchschnittswert aller Versuchsgruppen. In der Gruppe E hatten $83,3\%$ der Tiere IV-Werte über 70. Im Vergleich dazu zeigten $43,5\%$ der Kastraten und $15,2\%$ der IC-Gruppen (inklusive IC18X) IV-Werte über 70 (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5).

Tabelle 4 Mittelwerte \pm Standardabweichungen von Parametern der Wachstumsleistung und Fettqualität der verschiedenen Versuchsgruppen (dTZN-g/Tag; FVW-kg/kg; IMF-%; SFA-%; MUFA-%; PUFA-%, IV-g Jod/100g Fett)

Gruppe	C (n=23)	E (n=24)	IC12 (n=12/24)	IC16 (n=24)	IC18 (n=24)	IC18X (n=7)
Wachstumsleistung						
dTZN	$982,5 \pm 69,1$	$1002,1 \pm 83,6$	$975,8 \pm 79,4$	$989,2 \pm 54,1$	$1028,8 \pm 98,1$	--
FVW	$2,27 \pm 0,14^{ac}$	$2,01 \pm 0,11^b$	$2,40 \pm 0,22^c$	$2,19 \pm 0,14^{ad}$	$2,10 \pm 0,14^{bd}$	--
Fettqualität						
IMF	$1,54 \pm 0,33^a$	$1,07 \pm 0,29^b$	$1,46 \pm 0,31^a$	$1,35 \pm 0,46^{ab}$	$1,53 \pm 0,46^a$	--
SFA	$39,0 \pm 1,7^{ab}$	$37,9 \pm 1,6^b$	$39,9 \pm 1,9^{ac}$	$41,7 \pm 2,5^d$	$41,8 \pm 2,1^d$	$42,6 \pm 1,8^d$
MUFA	$44,4 \pm 1,7^a$	$41,8 \pm 2,3^b$	$43,7 \pm 1,6^{ac}$	$43,2 \pm 1,4^{ac}$	$42,8 \pm 1,2^{bc}$	$44,4 \pm 1,6^{ac}$
PUFA	$16,6 \pm 1,7^a$	$20,4 \pm 2,6^b$	$16,4 \pm 2,0^a$	$15,2 \pm 2,6^{ac}$	$15,5 \pm 1,7^{ac}$	$13,0 \pm 0,6^c$
IV	$69,0 \pm 2,6^a$	$73,4 \pm 3,2^b$	$68,1 \pm 3,1^{acd}$	$65,4 \pm 4,4^{cde}$	$65,5 \pm 3,2^{de}$	$62,5 \pm 1,9^e$

Werte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben innerhalb einer Reihe unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$)

Tabelle 5 Einfluss der Versuchsgruppe (VG), des Schlachtdurchganges (S), sowie der Versuchsgruppe x Schlachtdurchgang, auf die Wachstums- und Fettparameter

Parameter	tTZN	FWW	IMF	SFA	MUFA	PUFA	IV
VG	p>0,05	p<0,001	p<0,05	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
p-Werte S	p<0,001	p<0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05	p>0,05	p<0,05
VG x S	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05

1.4.3. Schlachtparameter

Das durchschnittliche Schlachtgewicht (SGW) (warm) aller Versuchsgruppen lag bei $97,29 \pm 6,64$ kg wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt wurden. Auch die pH-Werte im Kotelett-Anschnitt eine sowie 24 Stunden nach Schlachtung (pH1K, pH24K) zeigten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Versuchsgruppe.

Die an verschiedenen Lokalisationen gemessenen Speckschichten (SpeckW-Widerrist, SpeckR-Rückenmitte, SpeckL-Lende und SpeckS-Seite) zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen wobei die Gruppe der intakten Eber an allen gemessenen Stellen die geringsten Speckschichten aufwies. IC-Tiere zeigten an allen Positionen die dicksten Speckschichten und Kastraten hatten Werte zwischen Ebern und IC-Gruppen. Der Speck S bildete eine Ausnahme, bei der Kastraten mit durchschnittlich $26,77 \pm 5,50$ mm höhere Werte als die Gruppe IC16 mit durchschnittlich $24,68 \pm 5,75$ mm erzielten.

Auch die durchschnittlichen Werte der Fettfläche (FettF) lagen mit $14,84 \pm 2,70$ cm² bei intakten Ebern unterhalb der Werte aller anderen Versuchsgruppen, wobei die Gruppe der Kastraten die größte durchschnittliche Fettfläche aufwies ($17,40 \pm 3,56$ cm²). Hingegen zeigten die Messungen des Hennessy Muskelfleischanteils (Henn.M) signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen mit den höchsten Werten bei intakten Ebern ($60,88 \pm 1,66$ %). Auch die Messungen der Fleischfläche (FleischF) zeigten die größten Werte bei intakten Ebern ($59,27 \pm 3,53$ cm²) wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen feststellbar waren. Die Leitfähigkeiten im Schinken und im Kotelett 24 Stunden nach der Schlachtung (LeitfähigkeitS und K) unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Versuchsgruppen (siehe Tabelle 6 und Tabelle 7).

Tabelle 6 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der Schlachtparameter der Versuchsgruppen C, E, IC12, IC16 und IC18

Gruppe	C (n=23)	E (n=24)	IC12 (n=24)	IC16 (n=24)	IC18 (n=24)
SGW (kg)	94,43 \pm 6,32	97,72 \pm 4,91	97,35 \pm 7,38	98,48 \pm 6,35	98,33 \pm 7,64
pH1K	6,40 \pm 0,19	6,34 \pm 0,20	6,32 \pm 0,25	6,27 \pm 0,23	6,35 \pm 0,21
pH24K	5,36 \pm 0,06	5,36 \pm 0,05	5,34 \pm 0,06	5,35 \pm 0,04	5,34 \pm 0,07
SpeckW (mm)	28,37 \pm 4,54 ^{ac}	24,63 \pm 5,50 ^a	33,43 \pm 4,89 ^b	32,45 \pm 6,05 ^{bc}	32,85 \pm 4,80 ^b
SpeckR (mm)	17,98 \pm 2,60 ^a	12,60 \pm 2,83 ^b	19,74 \pm 5,64 ^{ad}	21,27 \pm 4,68 ^{cd}	21,16 \pm 3,77 ^{ad}
SpeckL (mm)	11,39 \pm 3,70 ^a	8,18 \pm 2,49 ^b	12,76 \pm 4,22 ^a	11,68 \pm 3,30 ^a	13,22 \pm 3,19 ^a
SpeckS (mm)	26,77 \pm 5,50 ^{ac}	20,27 \pm 4,78 ^b	27,25 \pm 6,57 ^{ac}	24,68 \pm 5,75 ^{bc}	27,59 \pm 5,24 ^{ac}
Henn.M %	59,75 \pm 2,65 ^{ac}	60,88 \pm 1,66 ^a	59,09 \pm 2,03 ^c	59,87 \pm 1,62 ^{ac}	59,62 \pm 1,98 ^{ac}
FleischF (cm²)	58,20 \pm 5,98	59,27 \pm 3,53	57,96 \pm 6,26	58,36 \pm 4,92	58,08 \pm 4,61
FettF (cm²)	17,40 \pm 3,56	14,84 \pm 2,70	17,32 \pm 3,79	16,54 \pm 2,93	17,26 \pm 3,12
LeitfähigkeitS (S/m)	2,56 \pm 0,59	2,73 \pm 0,92	2,77 \pm 1,05	2,60 \pm 0,76	2,67 \pm 0,84
LeitfähigkeitK (S/m)	4,57 \pm 2,46	4,91 \pm 2,40	4,70 \pm 2,12	4,78 \pm 2,24	4,17 \pm 1,77

Werte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben innerhalb einer Reihe unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$)

Tabelle 7 Einfluss der Versuchsgruppe (VG), des Schlachtdurchganges (S), sowie der Versuchsgruppe x Schlachtdurchgang, auf die Schlachtparameter

Parameter		SGW	pH1K	pH24K	SpeckW	SpeckR
p-Werte	VG	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p<0,001	p<0,001
	S	p>0,05	p>0,05	p<0,05	p>0,05	p<0,05
	VG x S	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p<0,05
Parameter		SpeckL	SpeckS	Henn.M	FleischF	FettF
p-Werte	VG	p<0,001	p<0,001	p<0,05	p>0,05	p<0,05
	S	p<0,05	p>0,05	p>0,05	p<0,05	p>0,05
	VG x S	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p>0,05	p>0,05
Parameter		LeitfähigkeitS		LeitfähigkeitK		
p-Werte	VG	p>0,05		p>0,05		
	S	p>0,05		p>0,05		
	VG x S	p>0,05		p>0,05		

1.5. Ebergeruch

Sowohl die Androstenon- als auch Skatolkonzentrationen wurden in Nackenfettproben der Eber (n=24), als auch der Impfgruppen (n=78) analysiert (siehe Abbildung 10). Eine Nackenfettprobe der Gruppe IC16 konnte aufgrund der zu geringen Menge an Untersuchungsmaterial nicht untersucht werden.

Intakte Eber zeigten neben signifikant höheren mittleren Androstenon- ($407,79 \pm 291,64\text{ng/g}$) und Skatolkonzentrationen ($125,63 \pm 88,47\text{ng/g}$) ($p<0,001$) auch eine große Streuung der Werte (Androstenon: 60-1335ng/g; Skatol: 26-403ng/g). Die höchste Androstenonkonzentration zeigte ein Tier aus Gruppe IC12 ($1484,0\text{ng/g}$). Die niedrigsten mittleren Androstenon- und Skatolkonzentrationen zeigten die Gruppen IC16 (Androstenon: $62,00 \pm 5,21\text{ng/g}$ vs. Skatol: $71,00 \pm 29,02\text{ng/g}$) und IC18 (Androstenon: $66,08 \pm 16,28\text{ng/g}$ vs. Skatol: $57,04 \pm 32,24\text{ng/g}$). In Gruppe IC12 lagen die Konzentration bei $187,17 \pm 321,78\text{ng/g}$ (Androstenon) und $89,88 \pm$

49,47ng/g (Skatol) bzw. in Gruppe IC18X bei $171,71 \pm 120,56$ ng/g (Androstenon) und $76,43 \pm 113,78$ ng/g (Skatol).

Es bestand weder eine signifikante Korrelation zwischen der Androstenon- und Skatolkonzentration innerhalb der Eber- ($\rho=0,225$; $p>0,05$) noch innerhalb der IC-Gruppen (exklusive IC18X) ($\rho=-0,008$; $p>0,05$). Hingegen korrelierte bei den IC-Tieren (exklusive IC18X) die Androstenon- und Testosteronkonzentration zum Zeitpunkt der Schlachtung ($\rho=0,577$; $p<0,001$), nicht jedoch die Skatol- und Testosteronkonzentration ($\rho=0,148$; $p>0,05$). In der Ebergruppe bestand ebenso keine Korrelation zwischen den beiden Ebergeruchstoffen und der Testosteronkonzentration ($p>0,05$).

Die verschiedenen Streudiagramme in Abbildung 10 zeigen die Androstenon- und Skatolkonzentrationen für die Eber- sowie alle Impfgruppen. Eine Probe der Gruppe E erreichte Androstenonkonzentrationen oberhalb des Grenzwertes von 1000ng/g Fett und drei weitere Tiere wiesen Skatolkonzentrationen über 200ng/g, dem Grenzwert für Skatol, auf. Ebenso wurde in der Gruppe IC12 jeweils ein Tier mit Werten oberhalb des Grenzwertes für Androstenon bzw. Skatol gefunden, wohingegen alle Tiere der Gruppe IC16 und IC18 sowohl Androstenon-, als auch Skatolkonzentrationen unterhalb der Grenzwerte für Geruchs/- oder Geschmackswahrnehmung aufwiesen.

In der Gruppe IC18X wies lediglich ein Tier Skatolkonzentrationen oberhalb des Grenzwertes auf, jedoch konnte kein Tier mit erhöhten Androstenonkonzentrationen festgestellt werden.

71,8% aller Proben aus den Gruppen IC12, IC16 und IC18 wiesen Androstenonkonzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze (LOQ – Limit of Quantification) auf.

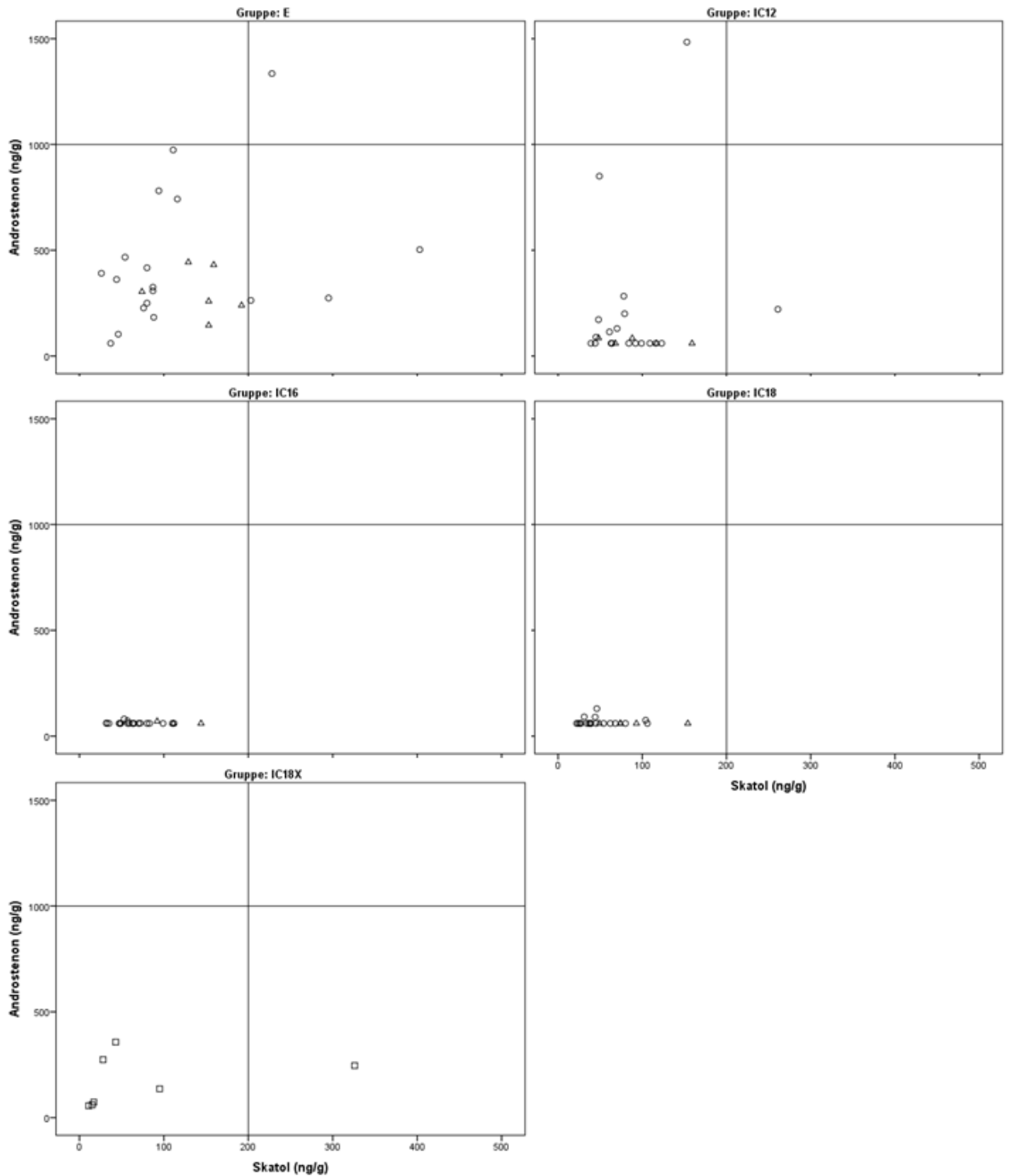


Abbildung 10 Androstenon- und Skatolkonzentrationen der Versuchsgruppen E, IC12, IC16 und IC18 zum Zeitpunkt der Schlachtung S1(Δ) und S2(O), sowie dem Schlachtzeitpunkt S3(\square) der Gruppe IC18X mit den Grenzzuglinien für Androstenon (1000ng/g) und Skatol (200ng/g)

1.6. Penisverletzungen

Insgesamt wurden 103 Penisse direkt am Schlachthof entnommen und auf Penisverletzungen untersucht (siehe Tabelle 8 und Tabelle 9).

91,7% der Eberpenisse zeigten Verletzungsanzeichen (Narben, Wunden oder Hämatome). Bei geimpften Tieren (exklusive IC18X) wiesen zwischen 16,7% (IC12) und 41,7% (IC18) der Penisse derartige Verletzungsanzeichen auf. Die Gruppe IC18X zeigte mit 71,4% signifikant mehr Penisverletzungen als alle anderen IC-Gruppen ($p < 0,05$) (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8 Mittelwert \pm Standardabweichung der Anzahl an Narben und Wunden/Tier, % der Tiere mit Penisverletzungen sowie % der Tiere mit Läsionen >1cm

Gruppe	n	Anzahl Narben/ Tier	Anzahl Wunden/ Tier	% Tiere mit Läsionen	% Tiere mit Läsionen >1cm
E	24	7,92 \pm 4,75	1,63 \pm 1,69	91,67	12,50
IC12	24	0,17 \pm 0,64	0,08 \pm 0,28	16,67	0,00
IC16	24	0,54 \pm 0,93	0,00 \pm 0,00	29,17	0,00
IC18	24	0,83 \pm 1,17	0,08 \pm 0,41	41,67	4,17
IC18X	7	3,29 \pm 3,15	0,71 \pm 1,25	71,43	0,00
Total	103	2,43 \pm 4,01	0,47 \pm 1,11	46,60	3,88

Vergleicht man die Anzahl an Narben und Wunden innerhalb einer Gruppe, traten bei Ebern 87,5% Narben und 66,7% Wunden auf. Bei IC-Tieren (IC12, IC16, IC18) waren es durchschnittlich 26,4% Narben und 4,2% Wunden. Sechs Tiere wiesen Hämatome bei der Penisbonitierung auf (E: n=5, IC12: n=1).

Bei der Bonitierung der Kammveränderungen wiesen 20,8% der Penisse aus der Ebergruppe hypertrophische Kämme und 12,5% hypertrophische Kämme mit Läsionen auf, wohingegen in den Gruppen IC18 und IC18X keine Kammveränderungen gefunden wurden. Im Gegenteil dazu zeigten 4,2% der Tiere aus der Gruppe IC12 hypertrophische Kämme und 8,3% hypertrophische Kämme mit Läsionen. Aus der Gruppe IC16 zeigten 4,2% der Tiere hypertrophische Kammveränderungen, jedoch zeigte kein Tier dieser Gruppe

zusätzliche Läsionen auf den Kämmen. Der Anteil an Kammveränderungen unterschied sich zwischen den Gruppen signifikant ($p=0,009$).

In Tabelle 9 ist die Größenverteilung der Verletzungen (Narben und Wunden) zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen dargestellt.

Tabelle 9 Größenverteilung der Narben und Wunden innerhalb der Versuchsgruppen (%)

Gruppe	n	Größen-Klassen der Penisverletzungen (mm)			
		<0,3	0,3-0,6	>0,6-1	>1,0
E	24	87,5	66,7	4,2	12,5
IC12	24	12,5	0,0	4,2	0,0
IC16	24	29,2	0,0	4,2	0,0
IC18	24	37,5	0,0	0,0	4,2
IC18X	7	57,1	28,6	0,0	0,0
Total	103	42,7	17,5	2,9	3,9
p-Werte		p<0,001	p<0,001	p>0,05	p>0,05

1.7. Akzessorische Geschlechtsorgane

Insgesamt wurden bei 68 Tieren die Größen ihrer akzessorischen Geschlechtsorgane (Bulbourethraldrüse-Bu, Samenblasendrüse-Gv und Prostata-P), sowie deren Hoden (Ho) erhoben (siehe Tabelle 10). Aufgrund einer verloren gegangenen Hodenprobe in Gruppe IC18, wurden bei der Hodenlängenmessung lediglich 17 Tiere, bei allen anderen Parametern 18 Tiere untersucht.

Da bei der Probengewinnung aus der Gruppe IC16 und IC18 lediglich Tiere vom zweiten Schlachttermin S2 bzw. in der Gruppe E nur Tiere vom ersten Schlachttermin S1 beprobt wurden, kann bei dieser Datenanalyse lediglich die Versuchsgruppe, nicht jedoch der Schlachtdurchgang als Einflussfaktor für mögliche Unterschiede in den Werten, als Parameter herangezogen werden.

Die Gruppe der intakten Eber wies tendenziell größere Geschlechtsorgane als die Vergleichsgruppen auf wobei dabei, mit Ausnahme zur Prostatalänge, durchwegs

signifikante Unterschiede zu den Gruppen IC16 und IC18 dargestellt wurden ($p < 0,05$). Bei der Bulbourethral- und Samenblasendrüsensbreite wurden zusätzlich signifikante Unterschiede zwischen der Ebergruppe und der Gruppe IC12 festgestellt ($p < 0,05$). Zwischen den Impfgruppen (IC18X ausgenommen) wurden mit Ausnahme der Samenblasen- sowie Bulbourethraldrüsensbreite und -länge keine signifikanten Unterschiede festgestellt, wobei die in den Ausnahmen berichteten signifikanten Unterschiede, zwischen den Gruppen IC12 und IC16 ($p < 0,05$) und nicht zwischen den Gruppen IC16 und IC18 bzw. IC12 und IC18 festgestellt wurden. Außerdem unterschieden sich die Gruppen IC12, IC16 und IC18, ausgenommen der Parametern Samenblasendrüsensbreite und -länge, signifikant von der Gruppe IC18X ($p < 0,05$). Es wurden zudem signifikante Korrelationen bei den IC-Gruppen (exklusive IC18X) zwischen jedem einzelnen Parameter und der Testosteronkonzentration zum Zeitpunkt der Schlachtung gezeigt ($p < 0,001$). Der Einfluss der Testosteronkonzentration auf die Größe der akzessorischen Geschlechtsorgane konnte in der Regressionsberechnung (siehe Tabelle 11) gezeigt werden.

Tabelle 10 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der Hodengröße und der Größe der akzessorischen Geschlechtsorgane (Angaben in cm) innerhalb der Versuchsgruppen (L=Länge, B=Breite) zum Zeitpunkt der Schlachtung

Organ	Gruppe				
	E (n=2)	IC12 (n=21)	IC16 (n=21)	IC18 (n=17/18)	IC18X (n=6)
HoL	9,00 \pm 1,41 ^{ab}	6,46 \pm 2,46 ^{ac}	5,17 \pm 0,86 ^c	5,85 \pm 1,11 ^c	10,25 \pm 3,00 ^b
BuB	4,00 \pm 1,41 ^a	2,05 \pm 0,90 ^{bd}	1,42 \pm 0,59 ^c	1,64 \pm 0,46 ^{cd}	2,83 \pm 0,98 ^a
BuL	10,50 \pm 2,12 ^{ae}	8,33 \pm 2,47 ^{ac}	6,40 \pm 1,22 ^b	7,25 \pm 1,26 ^{bc}	11,00 \pm 3,52 ^e
GvB	6,50 \pm 0,71 ^a	3,20 \pm 1,95 ^{be}	1,74 \pm 0,78 ^c	2,17 \pm 0,91 ^{ce}	5,00 \pm 2,76 ^{ab}
GvL	9,50 \pm 2,12 ^a	4,88 \pm 2,6 ^{ac}	3,36 \pm 0,87 ^b	3,75 \pm 1,02 ^{bc}	7,33 \pm 3,08 ^a
PB	2,00 \pm 0,00 ^{ad}	1,02 \pm 0,76 ^{ab}	0,65 \pm 0,37 ^b	0,83 \pm 0,39 ^{bc}	2,17 \pm 1,03 ^d
PL	3,00 \pm 0,00 ^{ab}	2,45 \pm 0,84 ^a	2,21 \pm 1,03 ^a	2,29 \pm 0,67 ^a	4,00 \pm 1,14 ^b

Werte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben innerhalb einer Reihe unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$)

Tabelle 11 Regressionsberechnung: Einfluss der Testosteronkonzentration zum Zeitpunkt der Schlachtung auf die Größe des Hodens sowie der akzessorischen Geschlechtsorgane der Gruppen IC12, IC16 und IC18

Testosteronkonzentration S							
	HoL	BuB	BuL	GvB	GvL	PB	PL
B	0,356	0,131	0,343	0,319	0,368	0,074	0,130
SE(B)	0,056	0,025	0,068	0,046	0,060	0,021	0,032
p-Werte	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,05	p<0,001

abhängige Variablen: HoL, BuB, BuL, GvB, GvL, PB, PL

unabhängige Variable: Testosteronkonzentration zum Zeitpunkt der Schlachtung

2. Teilversuch 2: Publikation: Penile Injuries in Immunocastrated and Entire Male Pigs of One Fattening Farm

Simon Reiter ¹, Susanne Zöls ¹, Mathias Ritzmann ¹, Volker Stefanski ² and Ulrike Weiler ^{2,*}

¹ Clinic for Swine, Ludwig-Maximilians-University Munich, Sonnenstrasse 16, 85764 Oberschleissheim, Germany; s.reiter@med.vetmed.uni-muenchen.de (S.R.); s.zoels@lmu.de (S.Z.); schweineklinik@med.vetmed.uni-muenchen.de (M.R.)

² Institute of Animal Science, Hohenheim University, Schloss Hohenheim 1, 70599 Stuttgart, Germany; volker.stefanski@uni-hohenheim.de

* Correspondence: weiler@uni-hohenheim.de; Tel.: +49-711-459-22916; Fax: +49-711-459-22498

Animals 7(9): 71

Simple Summary

In the EU, stakeholders of the pork chain committed themselves to voluntarily end surgical castration of boars in Europe. Pork production with entire males (EM) and with immunocastrated boars (IC) are discussed as animal friendly alternatives to surgical castration. However, raising EM may cause new welfare problems due to sexual and aggressive behavior patterns, such as penile injuries. The incidence of this welfare problem with immunocastrated pigs has not been described so far. Thus, it was the aim of this study to compare frequency and severity of penile injuries in EM and IC systematically. Incidence and size of penile injuries (wounds, scars, hematomas) were evaluated in 192 IC and 215 EM from one farm after slaughter. Scars were observed in 71.2% EM and 44.8% IC; whereas wounds were obvious only in 17.2% EM and 8.3% IC. Thus, it is concluded that immunocastration reduces the frequency and severity of penile injuries in IC when compared to EM of same age and weight.

Abstract

Penile injuries in boars have been discussed as a relevant welfare problem in pork production with entire males (EM). The incidence of penile injuries with immunocastrated boars has not been described so far. Thus, it was the aim of this study to systematically compare frequency and severity of penile injuries in EM and IC. Incidence and size of penile injuries (wounds, scars, hematomas) were evaluated in 192 IC and 215 EM from one farm after slaughter (120 kg live weight; four batches (BA) in at least weekly intervals over five weeks). 75.8% EM and 48.4% IC showed injuries at the pars libra of the penis. Scars were observed in 71.2% EM and 44.8% IC. Scars/animal were significantly influenced by treatment (IC vs. EM), B and treatment x B and increased with age in EM (BA1: 2.61 ± 3.05 ; BA4: 3.59 ± 3.47), but not in IC (BA1: 2.00 ± 3.02 ; BA4: 1.22 ± 1.91). Wounds were obvious in 17.2% EM and 8.3% IC. Wounds/animal were only influenced significantly by treatment and were lower in IC than in EM. Thus, it is concluded that immunocastration reduces the frequency and severity of penile injuries in IC when compared to EM of same age and weight.

Keywords: immunocastrates (IC); Improvac[®]; entire male (EM); penile injuries

1. Introduction

In the EU, surgical castration of male piglets without pain relief is nowadays unacceptable. Stakeholders of the pork chain committed themselves to voluntarily end surgical castration of boars in Europe by 1st of January 2018. Some countries have already prohibited surgical castration of boars without pain relief by law. The amendment of the Protection Animals Act in Germany from 13th of July 2013 bans surgical castration of male piglets without pain release from 1st of January 2019. As a consequence, alternatives need to be evaluated. Besides surgical castration with anesthesia and analgesia, pork production with entire males (EM) and with immunocastrated boars (IC) have been discussed as animal friendly alternatives to piglet castration without pain relief (VON BORELL et al., 2009).

Nevertheless, the use of EM for pork production in Germany is still limited because of meat quality problems caused by androstenone and skatole (CLAUS et al., 1994). Additionally, behavioral problems increase due to aggressive behavior of EM in order to establish social ranking (RYDHMER et al., 2013). Furthermore, EM shows a pronounced increase in sexual behavior along the fattening period, e.g., a threefold higher rate of mountings compared to gilts. In EM sexual oriented mounting is characterized by prolonged duration and pelvic thrusts (RYDHMER et al., 2006; HINTZE et al., 2013). This mounting activity may cause welfare problems due to lameness and other skeletal problems in both the mounting and the mounted animal (RYDHMER et al., 2006). In addition, sexually oriented mounting may also lead to penile injuries due to penis biting (WEILER et al., 2016).

In juvenile boars or barrows, the penile frenulum represents the connection between the preputial sheet and the penis and prevents the extrusion of the penis (HÜHN, 2013). Through increasing pelvic thrusting during the pubertal development, the penile frenulum is disrupted and the boars acquire the ability to extrude the penis completely (HÜHN, 2013). The extended penis of a mounting boar may stimulate other pen mates to bite and hereby injure the penis. In recent publications (ISERNHAGEN, 2015; WEILER et al., 2016), a high incidence of penile injuries has been described for various populations of EM whereas, in

surgical castrates, this problem was not detectable. It was concluded that penis biting is highly relevant for welfare problems in boars.

Immunocastration is discussed as an alternative to surgical castration and is performed by vaccinating boars twice with an antigen that stimulates the production of anti-GnRH-antibodies. The two vaccinations are carried out with an interval of at least four weeks. The second vaccination should be given four to six weeks before slaughter (Improvac®, Zoetis Deutschland GmbH, Berlin, Germany). Interrupting the endocrine cascade of the hypothalamic-pituitary-axis with anti-GnRH-antibodies has the consequence that the synthesis of testicular steroids in Leydig cells ceases and returns to prepubertal levels (WAGNER & CLAUS, 2004). Thus, one week after successful vaccinations, low testosterone and androstenone levels are measurable in vaccinated boars (DUNSHEA et al., 2001; EINARSSON et al., 2009). Between 10 and 14 days after the second vaccination, the hormone dependent aggressive and sexual behavior of boars starts to decrease (RYDHMER et al., 2010; ALBRECHT et al., 2012). However, consequences of IC for the incidence of penile injuries have not been described so far. Thus, it was the aim of the present study to systematically compare the frequency and severity of penile injuries in IC versus EM.

2. Materials and Methods

The aim of the present study was to quantify the incidence and severity of penile injuries in GnRH vaccinated IC and to compare them to EM raised under the same conditions. To allow a comparison with a previous study (WEILER et al., 2016) a similar evaluation scheme was applied.

2.1. Animals and Sampling

In total, 407 animals were raised from an average weight of 30 kg (11 weeks old) to 120 kg in a commercial fattening farm in the northern part of Germany, which had been selected for the study due to a known experience in rearing EM. All animals from the trial derived from one farrowing group (Danzucht x Du) were transported to the fattening farm with 11 weeks of age and an average weight of 30 kg. Animals were raised in groups of 15 animals in fully slatted pens with sensor controlled liquid feeding and water was provided ad libitum. The animals were assigned to the two treatment groups EM and IC in the fattening unit. The IC (n = 192) were immunized twice (first and sixth week of fattening, corresponding to an age of 12 and 17 weeks) with anti-GnRH vaccine (2 mL Improvac®, Zoetis Deutschland GmbH, Berlin, Germany) and EM (n = 215) remained unvaccinated. The live weight at slaughter was 120–125 kg. The length of the finishing period until slaughtering ranged between 12 weeks (BA1) and 16 weeks (BA4), with 13 weeks (BA2) and 15 weeks (BA3) respectively. At the slaughter line, the genital tract (penis, covered by the preputial sheet) was excised during evisceration and further evaluated as described below in detail (WEILER et al., 2016).

2.2. Evaluation of the Samples

Preparation and evaluation of the samples were carried out according to earlier studies (WEILER et al., 2016). To evaluate the specimen, the penis was carefully pushed in a caudal direction within the preputial sheet, so the preputial

sheet could be dissected without damaging the glans penis or the pars libra (WEILER et al., 2016). After removing the preputium, the pars libra penis was evaluated for different types of lesions: wounds, scars, hematomas, changes of the ridge (Figure 1a–g). In addition, the size of wounds and scars was recorded for each sample according to a size-score from 0.1–0.3 cm, >0.3–0.6 cm, >0.6–1 cm, >1 cm. Injuries >1 cm, with suppuration or losses of a part of penis were classified as ‘severe injuries’ (WEILER et al., 2016). The ridge was also classified in ‘physiological’, ‘slightly hypertrophic’ (Figure 1e), and ‘slightly hypertrophic with abrasions’ (Figure 1f). The total number of injuries includes scars, wounds, and hematomas. Moreover, other particularities that differ from the physiological anatomy of the boar penis were detected as ridge with hyperkeratosis (Figure 1g) or abrasions of the glans penis, which indicate sexual activity (Figure 1h).

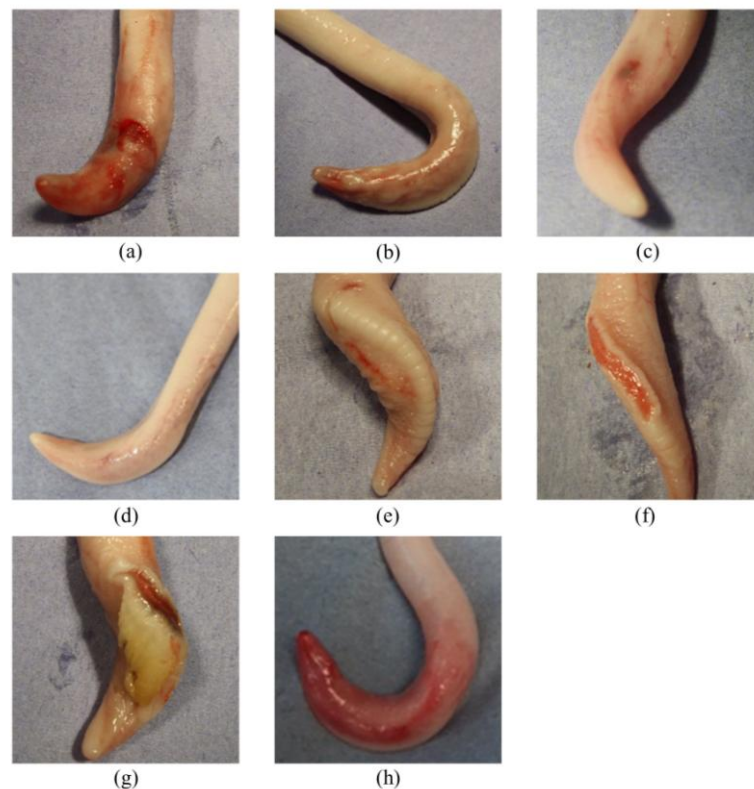


Figure 1. Pars libra penis with (a) wounds; (b) multiple scars; (c) hematoma; (d) no injuries; (e) slightly hypertrophic ridge; (f) slightly hypertrophic ridge with abrasions; (g) ridge with hyperkeratosis; (h) abrasion of the glans penis.

2.3. *Statistical Analysis*

All statistical analyses were performed in IBM SPSS Statistics Program (Version 23). Associations of categorical variables/percent values with group membership were analyzed using the chi-square test. The relationship between number of wounds and number of scars was analyzed by calculating the coefficient of Spearman's rank-correlation. As the total number of injuries per animal was not normally distributed, the nonparametric Mann–Whitney test was used for analysis of differences between groups and batches. A Poisson regression analysis (GLM) was carried out to evaluate the effects of batch and group as well as their interaction on the number of scars and wounds, respectively, and the respective effects were described by calculating the distribution via Poisson regression.

3. Results

3.1. Influence of Treatment and Age on the Number of Scars and Wounds

The Poisson regression analysis revealed a significant effect (each $p < 0.001$) of group BA and group x BA in case of scars. For the number of wounds only the group had a significant effect. The quantification is further shown in Table 1.

As shown in Table 1 (left side), the number of scars in EM was in total about 1.3-fold higher compared to IC. In EM the number of scars continuously increased from BA1 to BA4 up to 2.26-fold more scars ($p < 0.001$) compared to the reference category BA1. In IC, the mean number of scars was estimated to be reduced to the about 0.6-fold of that of BA1 (reference category) in all following batches. These findings confirm the results from Table 2. Regarding the mean number of wounds (Table 1, right side), only the factor group was significant ($p < 0.01$) with a 4.18-fold mean number of wounds in EM animals compared to IC animals. The type and size of wounds are further analyzed below.

Table 1. Probability distribution (Poisson). Left side dependent variable: number of scars; right side dependent variable: number of wounds.

Parameter	Number of Scars Per Animal			Number of Wounds Per Animal		
	B	p Value	exp(B)	B	p Value	exp(B)
(constant term)	0.693	0.000	2.000	-2.197	0.000	0.111
[group = EM]	0.265	0.048	1.304	1.430	0.003	4.179
[group = IC]	ref. cat.		1	ref. cat.		1
[BA4]	-0.496	0.022	0.609	-0.938	0.392	0.391
[BA3]	-0.499	0.004	0.607	-0.847	0.311	0.429
[BA2]	-0.409	0.004	0.665	-0.735	0.144	2.085
[BA1]	ref. cat.		1	ref. cat.		1
[group = EM] *						
[BA4]	0.817	0.001	2.264	0.808	0.484	2.242
[group = EM] *						
[BA3]	0.738	0.000	2.092	0.206	0.821	1.228
[group = EM] *						
[BA2]	0.465	0.009	1.592	-0.823	0.145	0.439

n = 407. model: constant term, group, batch, group*batch. Regression coefficient (B); exponentiated regression coefficient (exp(B)); ref. cat. = reference category.

Table 2. Number of scars and number of wounds per animal (mean \pm SD), percentage (%) of animals with injuries and with severe injuries of EM and IC per batch (BA) are given.

Group	BA	n	Number of Scars/Animal	Number of Wounds/Animal	% Animals with Injuries	% Animals with Severe Injuries
IC	1	45	2.00 \pm 3.02	0.11 \pm 0.53	48.89	2.22
	2	82	1.33 \pm 2.35	0.23 \pm 0.65	48.78	4.88
	3	42	1.21 \pm 1.66	0.05 \pm 0.31	52.38	0.00
	4	23	1.22 \pm 1.91	0.04 \pm 0.21	39.13	0.00
	Total	192	1.45 \pm 2.35	0.14 \pm 0.53	48.44	2.60
EM	1	56	2.61 \pm 3.05	0.46 \pm 1.37	73.21	14.29
	2	87	2.76 \pm 3.13	0.43 \pm 1.12	70.11	4.60
	3	45	3.31 \pm 2.58	0.24 \pm 0.68	88.89	4.44
	4	27	3.59 \pm 3.47	0.41 \pm 1.08	77.78	22.22
	Total	215	2.94 \pm 3.05	0.40 \pm 1.11	75.81	9.30
Total		407	2.24 \pm 2.84	0.28 \pm 0.89	62.90	6.14

3.2. Incidence of Hyperkeratosis and Hypertrophy of the Ridge

In total, samples of 215 EM and 192 IC were evaluated. Hyperkeratosis on the ridge was obvious in 12.1% of EM and 5.2% of IC samples. A slightly hypertrophic ridge was observed in 27.9% of the samples from EM and 11.6% showed hypertrophic ridges with abrasions. In contrast, 19.3% of IC had slightly hypertrophic ridges and 7.3% of IC had slightly hypertrophic ridges with abrasions ($p = 0.008$). Five animals showed abrasions at the top of the penis (EM: $n = 2$; IC: $n = 3$).

3.3. Incidence and Size of Penile Injuries

The incidence and severity of penile injuries per group and batch are summarized in Tables 2 and 3. Overall, 75.8% of EM and 48.4% of IC showed signs of penile injuries (scars, wounds, and hematomas) ($p < 0.001$). This difference was even more pronounced when evaluating the number of samples with scars (EM = 71.2% vs. IC = 44.8% ($p < 0.001$)) than with wounds (EM = 17.2% vs. IC = 8.3% ($p < 0.001$)). The total number of injuries (scars, wounds, and hematomas) differed significantly between EM with 3.4 ± 3.4 injuries and IC

with 1.7 ± 2.5 injuries ($p < 0.001$). In IC the number of scars correlates with the number of wounds ($r = 0.172$; $p = 0.017$) in contrast to EM group. 27 animals were classified to have penile hematomas (EM: $n = 20.7\%$; IC: $n = 23.0\%$).

In Table 2, the numbers of scars and wounds per group and batch are displayed. The number of scars per animal in EM increased from 2.61 ± 3.05 (BA1) to 3.59 ± 3.47 (BA4), in contrast to IC the number of scars decreased and remained on a lower level (BA1: 2.00 ± 3.02 vs. BA4: 1.22 ± 1.91). The number of wounds was lower in IC compared to EM through all batches.

According to size distribution of penile injuries (Table 3), EM showed generally more injuries in every score class, and the number of injuries in the score classes decreased continuously from the lowest (EM = 67.9%; IC = 43.2%) to the highest score class, which comprises severe injuries (EM = 9.3%; IC = 2.6%).

Table 3. Size distribution of injuries in % of animals of IC and EM and significance of difference between IC and EM (chi-square test).

Group	n	Injury Size Class			
		<0.3 cm	0.3–0.6 cm	0.6–1.0 cm	>1.0 cm
IC	192	43.2%	12.0%	3.6%	2.6%
EM	215	67.9%	19.5%	6.5%	9.3%
Total	407	56.3%	16.0%	5.2%	6.1%
p		<0.001	<0.05	ns	<0.01

4. Discussion

To our knowledge, this is the first study that evaluates and quantifies the incidence of penile injuries of GnRH vaccinated boars. It has been described already by others that EM display more sexual mounting and longer mounts than gilts (HINTZE et al., 2013). Probably, this frequent mounting behavior explains the high incidence of penile injuries in EM in our study, as the extrusion of the penis during sexually oriented mounting is prerequisite for penis biting by pen mates. Penile injuries in boars have been discussed as a relevant welfare problem in EM even if scientific studies on this topic are scanty. In a previous publication from our group, it had been demonstrated that penile injuries are not a sporadic phenomenon, but occur in intensive production systems (64.0–94.9%) as well as in wild living boars (40%) (WEILER et al., 2016).

In the present study IC had significantly less penile scars and fresh wounds than EM. This might be a consequence of the decreasing sexual behavior in IC after the second vaccination (RYDHMER et al., 2010; ALBRECHT et al., 2012) due to the increasing level of GnRH antibodies and the concomitant decrease of testosterone synthesis by Leydig cells (DUNSHEA et al., 2001). The suppressive effect of GnRH vaccination, especially on aggressive and sexual behavior, may be observed up to 22 weeks after the second vaccination in accordance to some investigations (ZAMARATSKAIA et al., 2008b; EINARSSON et al., 2009), whereas in another study that monitored Leydig cell function after the second vaccination by measuring testicular steroids in blood, the resumption of steroidogenesis differed extremely between individuals, and ranged between 10 and 24 weeks (CLAUS et al., 2008). In comparison to results of surgical castrates, which are not able to extrude the penis, IC had more penile injuries due to the male behavior before the second vaccination (WEILER et al., 2016).

In EM, the number of scars increased with age, as from batch one to batch four an almost linear increase of 0.25 from BA1 to BA4 could be observed. In contrast, IC showed no increasing tendency in the number of scars with age. An explanation for the continuous increase in the number of scars in EM might be the increasing level of sexual activity along the fattening period as described by others (ISERNHAGEN, 2015). However, contradictory results have also been published (FÀBREGA et al., 2010; RYDHMER et al., 2010), describing

decreasing sexual activity with increasing weight. It has to be kept in mind, however, that aggressive and sexual behavior may be further modified by the management of the groups such as removing pen mates from a fattening group, which may lead to an increase in agonistic behavior in the remaining group two-fold during the following days (FREDRIKSEN & HEXEBERG, 2009). EM and IC were selected according to weight for the BA and removed from pens in our study.

Irrespectively of the effects in EM, the results clearly show that GnRH vaccination of boars leads to a lower frequency of penile injuries and a lower severity of the injuries than in EM. For further studies, it may be suggested that the regular evaluation of penile injuries may provide an excellent indicator for sexual activity and mounting behavior in EM pork production.

5. Conclusion

The results show that immunocastration reduces the frequency and severity of penile injuries in IC when compared to EM raised under the same conditions.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Tönnies Lebensmittel GmbH & Co. KG, Rheda-Wiedenbrück, Germany, for the opportunity to conduct this research, and Hans-Jörg Eynck for his support at the slaughter line.

Author Contributions

Susanne Zöls, Mathias Ritzmann, Volker Stefanski, and Ulrike Weiler conceived and designed the experiments; Simon Reiter, Susanne Zöls, and Ulrike Weiler performed the experiments; Susanne Zöls, Simon Reiter, and Ulrike Weiler analyzed the data; Susanne Zöls, Simon Reiter, and Ulrike Weiler wrote the paper. Authorship must be limited to those who have contributed substantially to the work reported.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

1. Von Borell, E.; Baumgartner, J.; Giersing, M.; Jäggin, N.; Prunier, A.; Tuytens, F.A.M.; Edwards, S.A. Animal welfare implications of surgical castration and its alternatives in pigs. *Animal* 2009, 3, 1488–1496.
2. Claus, R.; Weiler, U.; Herzog, A. Physiological aspects of androstenedione and skatole formation in the boar—A review with experimental data. *Meat Sci.* 1994, 38, 289–305.
3. Rydhmer, L.; Hansson, M.; Lundström, K.; Brunius, C.; Andersson, K. Welfare of entire male pigs is improved by socialising piglets and keeping intact groups until slaughter. *Animal* 2013, 7, 1532–1541.
4. Hintze, S.; Scott, D.; Turner, S.; Meddle, S.L.; D'Eath, R.B. Mounting behaviour in finishing pigs: Stable individual differences are not due to dominance or stage of sexual development. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 2013, 147, 69–80.
5. Rydhmer, L.; Zamaratskaia, G.; Andersson, H.K.; Algers, B.; Guillemet, R.; Lundström, K. Aggressive and sexual behaviour of growing and finishing pigs reared in groups, without castration. *Acta Agric. Scand. Sect. A Anim. Sci.* 2006, 56, 109–119.
6. Weiler, U.; Isernhagen, M.; Stefanski, V.; Ritzmann, M.; Kress, K.; Hein, C.; Zols, S. Penile injuries in wild and domestic pigs. *Animals* 2016, 6, 25.
7. Hühn, U. Sex characteristics of young boars during puberty. *Nutztierpraxis Aktuell* 2013, 44, 4–9.
8. Isernhagen, M. *The Fattening of Entire Male Pigs under conventional Housing Conditions—Impact on Animal Health and Animal Welfare*; Ludwig-Maximilians-University: Munich, Germany, 2015.
9. Wagner, A.; Claus, R. Involvement of glucocorticoids in testicular involution after active immunization of boars against GnRH. *Reproduction* 2004, 127, 275–283.
10. Dunshea, F.R.; Colantoni, C.; Howard, K.; McCauley, I.; Jackson, P.; Long, K.A.; Lopatnicki, S.; Nugent, E.A.; Simons, J.A.; Walker, J.; et al. Vaccination of boars with a GnRH vaccine (improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. *Anim. Sci.* 2001, 79, 2524–2535.
11. Einarsson, S.; Andersson, K.; Wallgren, M.; Lundstrom, K.; Rodriguez-Martinez, H. Short- and long-term effects of immunization against gonadotropin-releasing hormone, using improvac, on sexual maturity, reproductive organs and sperm morphology in male pigs. *Theriogenology* 2009, 71, 302–310.
12. Albrecht, A.-K.; Grosse Beilage, E.; Kanitz, E.; Puppe, B.; Traulsen, I.; Krieter, J. Influence of immunisation against GnRH on agonistic and mounting behaviour, serum testosterone concentration and body weight in male pigs compared with boars and barrows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 2012, 138, 28–35.
13. Rydhmer, L.; Lundstrom, K.; Andersson, K. Immunocastration reduces aggressive and sexual behaviour in male pigs. *Animal* 2010, 4, 965–972.
14. Zamaratskaia, G.; Rydhmer, L.; Andersson, H.K.; Chen, G.; Lowagie, S.; Andersson, K.; Lundstrom, K. Long-term effect of vaccination against gonadotropin-releasing hormone, using improvac, on hormonal profile and behaviour of male pigs. *Anim. Reprod. Sci.* 2008, 108, 37–48.
15. Claus, R.; Rottner, S.; Rueckert, C. Individual return to leydig cell function after GnRH-immunization of boars. *Vaccine* 2008, 26, 4571–4578.

16. Fàbrega, E.; Velarde, A.; Cros, J.; Gispert, M.; Suárez, P.; Tibau, J.; Soler, J. Effect of vaccination against gonadotrophin-releasing hormone, using improvac[®], on growth performance, body composition, behaviour and acute phase proteins. *Livest. Sci.* 2010, 132, 53–59.
17. Fredriksen, B.; Hexeberg, C. The effect of removing animals for slaughter on the behaviour of the remaining male and female pigs in the pen. *Res. Vet. Sci.* 2009, 86, 368–370.

3. Teilversuch 3: GnRH-Vakzination unter Feldbedingungen

Insgesamt wurden 70 GnRH-vakzinierte Tiere (IC) aus zwei Buchten und 34 intakte Eber (E) aus einer Bucht in die Auswertung eingeschlossen.

3.1. Allgemeinbefinden, Verhalten und Hautscore

Nach der ersten (V1) und zweiten Vakzination (V2) wurde bei keinem Tier eine Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens festgestellt.

Zum Zeitpunkt V2 traten die Verhaltensparameter „Aufreitversuche“ und „Aufreiten“ bei Ebern durchschnittlich 13,1 und 2,9 mal bzw. bei der Impfgruppe 8,3 und 2,4 mal pro Bucht auf. Zwei Wochen danach (NK) wurden in der Ebergruppe im Mittel 11,5 „Aufreitversuche“ und 2,0 Aktionen „Aufreitverhalten“ im Gegensatz zu 2,6 „Aufreitversuchen“ und keinem „Aufreitverhalten“ in der Impfgruppe dokumentiert (siehe Abbildung 11).

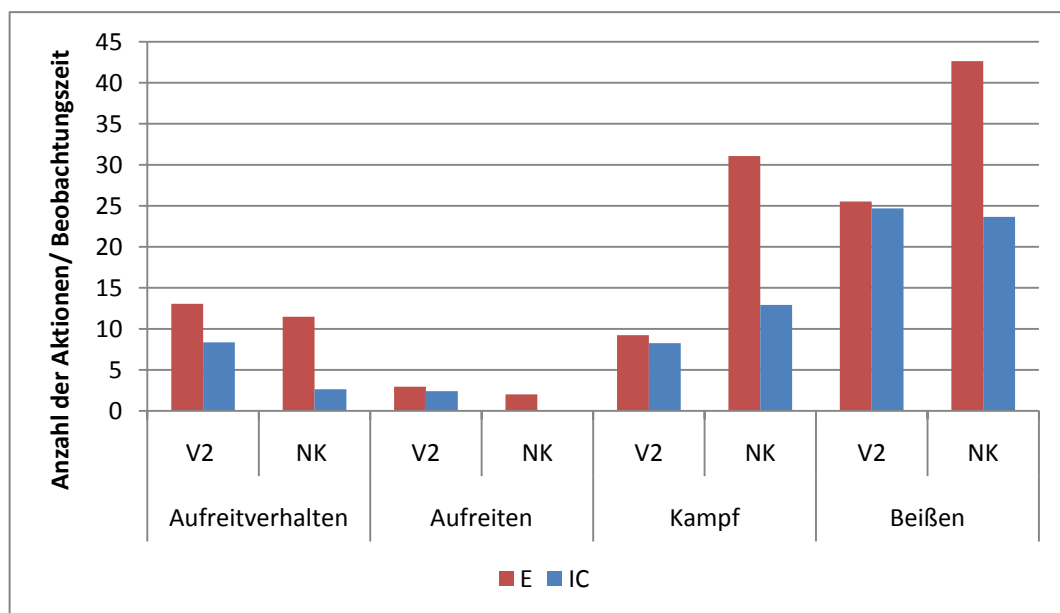


Abbildung 11 Anzahl der Verhaltensparameter „Aufreitverhalten“, „Aufreiten“, „Kampf“ und „Beißen“ der Eber- und Impfgruppe zur zweiten Impfung (V2) und Nachkontrolle (NK)

Der mittlere Hautscore pro Tier lag zum Zeitpunkt der ersten Impfung (V1) bei 1,99 (Impfgruppe) bzw. 2,0 (Ebergruppe) und zu V2 bei 1,74 bzw. 2,29. Zum Zeitpunkt NK sank dieser bei der Impfgruppe (0,73) im Gegensatz zur Ebergruppe (1,85).

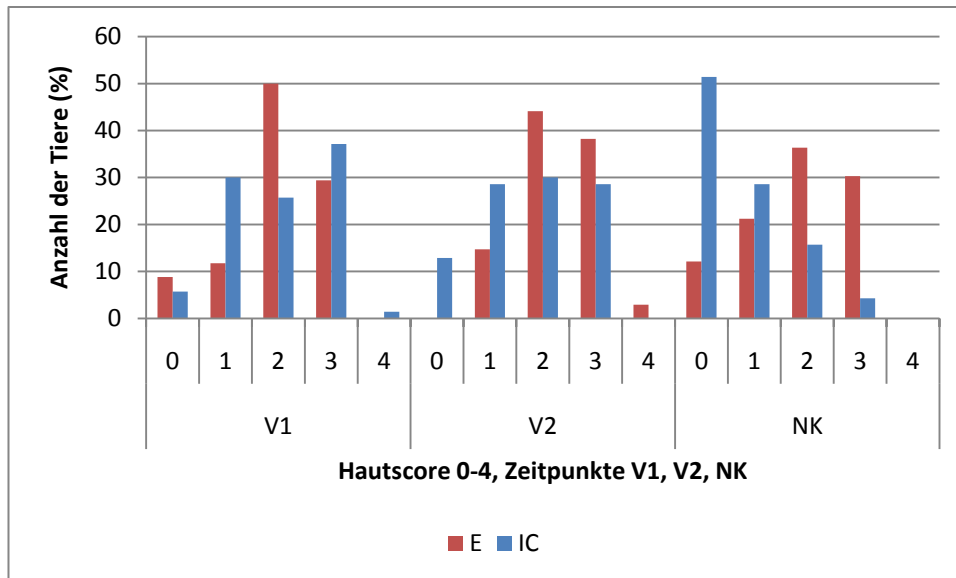


Abbildung 12 Hautscore (0-4) an den Zeitpunkten V1, V2 und NK bei geimpften Tieren (IC) und Ebern (E)

3.2. Penisverletzungen

Da insgesamt 26 Penisse (Ebergruppe: n=7, Impfgruppe: n=19) im Schlachtprozess verloren gingen, wurden zusätzliche Penisse von intakten Ebern derselben Schlachtpartie dieses Betriebes gesammelt (n=189; IC: n=51; Eber: n=138), wobei davon 182 Penisse beurteilt werden konnten, da sieben Eberpenisse aufgrund vorhandener Siedeartefakte nicht bonitiert werden konnten. Insgesamt wiesen 82,4% der ungeimpften und 29,4% der geimpften Tiere Penisverletzungen auf ($p < 0,001$). 14,5% der Tiere der Ebergruppe wiesen Verletzungen $> 1\text{cm}$ im Gegensatz zu keinen Verletzungen bei Tieren der Impfgruppe auf ($p < 0,05$). Die Anzahl der Verletzungen pro Penis lag durchschnittlich bei 3,3 Narben und 0,8 Wunden im Gegensatz zu 0,5 Narben und 0,1 Wunden der Impfgruppe (Wunden: $p < 0,001$; Narben: $p < 0,001$).

Aus der Ebergruppe wiesen 9,2% der Penisse hypertrophische Kammveränderungen auf, wohingegen in der Gruppe der geimpften Tiere der Anteil bei 5,9% lag. Ebenso zeigten in der Impfgruppe 5,9% der Tiere hypertrophische Kammveränderungen mit Läsionen an den Penissen, wobei die

Ebergruppe hier 5,3% aufwies. Der Anteil an Kammveränderungen unterschied sich zwischen den Gruppen nicht signifikant ($p > 0,05$). An fünf Penissen der Ebergruppe wurden Hämatome detektiert.

3.3. Ebergeruch

Es wurden die Androstenon- und Skatolkonzentrationen in Nackenfettproben von Ebern ($n=21$) und geimpften Tieren ($n=27$) analysiert (siehe Abbildung 13).

Die mittlere Androstenonkonzentration der Ebergruppe lag bei $792,3 \pm 1139,5 \text{ ng/g}$, die der Impfgruppe bei $64,5 \pm 23,1 \text{ ng/g}$ Fettgewebe ($p < 0,001$). Die Skatolkonzentration im Fettgewebe lag bei ungeimpften Ebern im Mittel bei $126,7 \pm 77,4 \text{ ng/g}$ im Gegensatz zu $92,9 \pm 27,6 \text{ ng/g}$ bei geimpften Tieren ($p > 0,05$). Es bestand eine signifikante Korrelation zwischen der Androstenon- und Skatolkonzentration in der Ebergruppe ($\rho = 0,606$; $p < 0,05$), nicht jedoch in der Impfgruppe ($\rho = 0,296$; $p > 0,05$).

Vier ungeimpfte Eber wiesen Konzentrationen oberhalb des Grenzwertes von 1000 ng/g Androstenon und drei Eber Skatolkonzentrationen über 200 ng/g Fettgewebe auf, wohingegen alle IC-Tiere Werte unterhalb beider Grenzwerte zeigten (Abbildung 13).

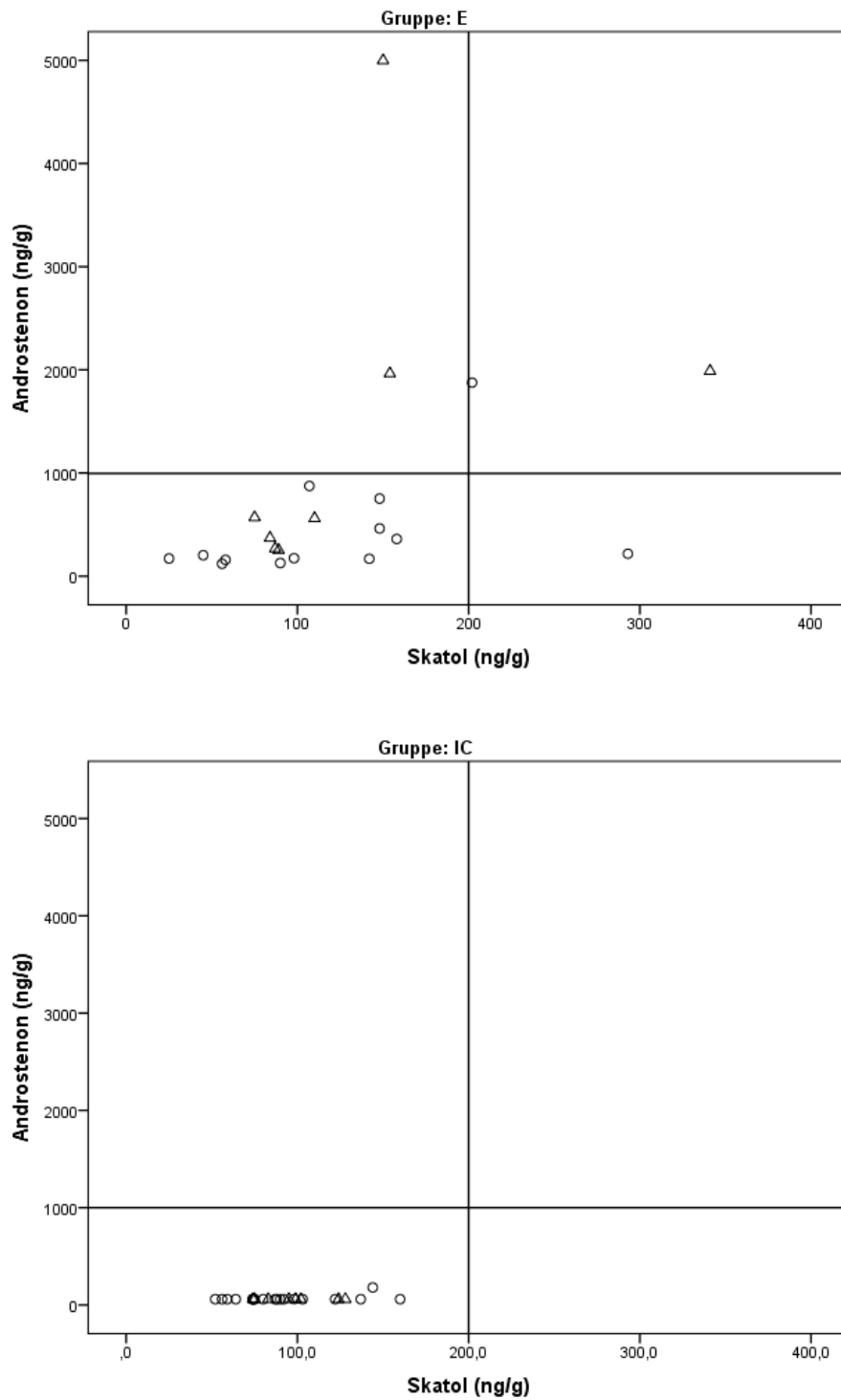


Abbildung 13 Androstenon- und Skatolkonzentrationen zum Zeitpunkt der Schlachtung S1(Δ) und S2 (O) bei der Ebergruppe (oben) und bei der geimpften Gruppe (unten) mit den Grenzlinien für Androstenon (1000ng/g) und Skatol (200ng/g)

V. DISKUSSION

Ziel der Untersuchungen des ersten Teilversuches war es, den Einfluss der Impfung gegen GnRH (Improvac[®], Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) zu verschiedenen Impfzeitpunkten unter definierten Versuchsbedingungen, auf verschiedene Parameter vergleichend mit intakten Ebern und Kastraten zu untersuchen. Im zweiten Teilversuch wurden die Penisverletzungen von intakten Ebern mit denen von GnRH-vakzinierten Ebern in einem Mastdurchgang über vier Schlachtdurchgänge in einem Praxisbetrieb verglichen. Zudem wurden die Ergebnisse der Androstenon- und Skatolkonzentrationen, des Verhaltens und der Penisverletzungen des ersten Teilversuches in einem dritten Teilversuch unter Feldbedingungen zwischen intakten Ebern und geimpften Tieren überprüft, wobei im dritten Teilversuch zusätzlich das Auftreten von Hautverletzungen zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten untersucht wurde.

Die Impfung mit der GnRH Vakzine Improvac[®] (Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) führt zu einer humoralen Immunantwort gegen endogenes GnRH (DUNSHEA et al., 2001), welche die Funktion der Leydig-Zellen im Hoden einschränkt (EINARSSON et al., 2009) und somit die Produktion der Geschlechtshormone und auch die des Androstenons zum Erliegen kommen. Laut Hersteller sind für eine erfolgreiche Anwendung zwei Injektionen nötig, wobei der Abstand der zweiten Impfung zur Schlachtung vier bis sechs Wochen betragen soll (CLINIPHARM/CLINITOX, 2018). Da erst die Boosterung zu einem massiven Anstieg der GnRH-Antikörper führt, sind die Tiere bis zur zweiten Impfung als Eber einzustufen (DUNSHEA et al., 2001). Die erfolgreiche Verhinderung des Ebergeruches durch die Impfung wurde bereits in mehreren Studien bestätigt (JAROS et al., 2005; ZAMARATSKAIA et al., 2008a).

1. Verhalten

Wie bereits von anderen Autoren ausführlich beschrieben, unterscheiden sich bestimmte Verhaltensmuster bei männlichen, weiblichen bzw. kastrierten Tieren (RYDHMER et al., 2006; RYDHMER et al., 2010; HINTZE et al., 2013; ISERNHAGEN, 2015). Sexuell motiviertes und aggressives Verhalten spielt dabei eine wichtige Rolle. So zeigen männliche Tiere nach HINTZE et al. (2013) dreimal so viel Aufreitverhalten wie weibliche Tiere, das Aufreiten dauert durchschnittlich länger an und verursacht beim besprungenen Tier lauterer Schreien verglichen mit weiblichen Tieren. Auch RYDHMER et al. (2006) zeigten, dass auch weibliche Tiere sexuell motiviertes Verhalten aufweisen können, im Vergleich zu männlichen Tieren allerdings deutlich weniger häufig. Ursächlich für „Aufreitverhalten“ kann sowohl Dominanzverhalten als auch sexuell motiviertes Verhalten sein. FREDRIKSEN et al. (2008) belegten, dass es während der Fütterungszeit zu vermehrtem Aufreitverhalten kommt, da sich hochrangigere Tiere mit diesem Verhalten besseren Futterzugang verschaffen. Da jedoch sexuell orientiertes Aufreitverhalten, wie bereits zuvor erwähnt, länger andauert als dominanzbasiertes Aufreitverhalten, wurde in der vorliegenden Studie in Analogie zu ISERNHAGEN (2015) zur Abgrenzung zwischen diesen beiden Verhaltensmustern eine Zeitdauer von >30 Sekunden gewählt.

Wie die Ergebnisse von ALBRECHT et al. (2012), FÀBREGA et al. (2010), RYDHMER et al. (2010) und ZAMARATSKAIA et al. (2005b), ergaben auch die Verhaltensbeobachtungen des ersten (definierte Bedingungen) und des dritten Teilversuches (Praxisbedingungen) der vorliegenden Untersuchung übereinstimmend, dass gegen GnRH vakzinierte Tiere zwei Wochen nach der zweiten Impfung (Nachkontrolle-NK), deutlich weniger „Aufreitverhalten“ und tatsächliches „Aufreiten“ zeigten als zum Zeitpunkt der zweiten Impfung (V2). Auch die Aktion „Kampf“ trat zum Zeitpunkt NK verglichen zu V2 im ersten Teilversuch deutlich weniger häufig auf, was ebenso in den Untersuchungen von RYDHMER et al. (2010) und ALBRECHT et al. (2012) bestätigt wurde. Im Gegensatz dazu wurde unter Feldbedingungen im dritten Teilversuch keine Abnahme der Aktion „Kampf“ von V2 zu NK weder bei den IC-Tieren, noch bei den intakten Ebern, beobachtet. Das Verhalten „Beißen“ zeigte bei den IC-Tieren im ersten Teilversuch sowohl ab- als auch aufsteigende Tendenzen von V2 zu NK und auch im dritten Teilversuch wurde nur eine geringe Abnahme bei den IC-

Tieren beobachtet, weshalb der Parameter „Beißen“ als sehr variabel eingestuft wurde. So sind für das Verhalten „Beißen“ zumeist andere Auslöser ursächlich, beispielsweise ein verringertes Platzangebot (SIMONSEN, 1990) oder auch häufiges Umgruppieren der Tiere (GIERSING & ANDERSSON, 1998) kann zu vermehrtem Aggressionsverhalten mit „Beißen“ führen.

Der Grund für das, vor allem bei den IC-Tieren beobachtete reduzierte sexuell motivierte Verhalten, wie „Aufreitverhalten“ und „Aufreiten“, lässt sich durch das Ansteigen des GnRH-Antikörpertiters circa zwei Wochen nach der zweiten Impfung erklären (DUNSHEA et al., 2001). Durch die Blockade der hypothalamo-hypophysären Hormonachse, kommt es folglich zur Abnahme der Testosteronkonzentration (ALBRECHT et al., 2012) und in Konsequenz zu den beschriebenen Verhaltensänderungen der geimpften Tiere.

2. Hautbonitur

Im dritten Teilversuch sollten unter Praxisbedingungen die Hautverletzungen, ähnlich der Arbeit von ISERNHAGEN (2015) vergleichend zwischen intakten Ebern und geimpften Tieren bonitiert werden um auf evtl. Veränderungen durch die GnRH-Vakzination schließen zu können. Durch aggressives und sexuell motiviertes Verhalten von intakten Ebern (RYDHMER et al., 2006; RYDHMER et al., 2010) kommt es in weiterer Folge auch zum Auftreten von Hautverletzungen (TURNER et al., 2006; FÀBREGA et al., 2010; RYDHMER et al., 2010; ISERNHAGEN, 2015). TURNER et al. (2006) beschrieben eine positive Korrelation zwischen den Hautverletzungen der Tiere und der Teilnahme an aggressiven Verhaltensweisen. In Übereinstimmung mit RYDHMER et al. (2010) und FÀBREGA et al. (2010) zeigten die Ergebnisse des dritten Teilversuches eine deutliche Reduktion der Hautverletzungen bei den IC-Tieren von V2 zu NK. Der mittlere Hautscore der IC-Tiere sank dabei von 1,74 (V2) auf 0,73 (NK) verglichen zu 2,29 und 1,85 in der Ebergruppe. 51,4% der IC-Gruppen wiesen zum Zeitpunkt NK den Hautscore 0, mit keinen Verletzungen, verglichen zu 12,1% bei der Ebergruppe auf. ANDERSSON et al. (2012) zeigten neben einer geringeren Anzahl an Hautverletzungen bei den IC-Tieren verglichen zu intakten Ebern, zusätzlich einen geringeren Schweregrad. Auch die Ergebnisse des dritten Teilversuches zeigten vor allem zum Zeitpunkt NK bei den IC-Tieren eine klare Tendenz zu leichter ausgeprägten Hautverletzungen, verglichen zu den intakten Ebern (siehe Abbildung 12).

3. Serum-Testosteronkonzentration und GnRH-Bindung

3.1. Serum-Testosteronkonzentration

Den bereits in früheren Untersuchungen beschriebenen Abfall der Testosteronkonzentration bei GnRH vakzinierten Tieren nach der zweiten Impfung (DUNSHEA et al., 2001; ALBRECHT et al., 2012) zeigten auch im ersten Teilversuch die Gruppen IC16 und IC18 zwischen den Zeitpunkten V2 und der Schlachtung (S). Lediglich in der Gruppe IC12 konnte keine Abnahme der Testosteronkonzentration von V2 zu S festgestellt werden, was sich aufgrund des sehr jungen Alters dieser Tiere zum Zeitpunkt V2 (12. LW) und der dadurch niedrigeren Ausgangs-Testosteronkonzentration ($0,90 \pm 0,62\text{ng/g}$) erklären lässt.

Hingegen zeigten sich auch deutliche Unterschiede in der Testosteronkonzentrationen zwischen den Gruppen IC18 und IC18X zum Zeitpunkt V2, obwohl beide Gruppen nach dem gleichem Schema geimpft und beprobt wurden. Als Erklärung dafür könnte die unterschiedliche Aufstallung der Gruppen mit unterschiedlichen Tierdichten herangezogen werden (BRAIN & BENTON, 1983). Die Gruppe IC18X wurde in einem anderen Stallabteil mit 8 Tiere/Bucht ($1,39\text{m}^2/\text{Tier}$) gehalten, während die Gruppe IC18 in einem Stallabteil mit 12 Tieren/Bucht ($1,08\text{m}^2/\text{Tier}$) gehalten wurde. Somit konnte gezeigt werden, dass eine geringere Anzahl an Tieren/Bucht mit höheren Testosteronwerten dieser Individuen einhergeht (BRAIN & BENTON, 1983).

Die bei männlichen Schweinen außerdem vorkommende geringe Androgenproduktion der Nebennierenrinde, neben dem Hoden als Hauptbildungsort dieses Hormons, erklärt die auch bei Kastraten gemessenen basalen Testosteronkonzentrationen (CLAUS et al., 1971). Eber hingegen zeigten in der vorliegenden Studie, in Analogie zu EINARSSON et al. (2011) und DUNSHEA et al. (2001), eine sehr große Streuung mit sowohl niedrigen, als auch sehr hohen Testosteronkonzentrationen, welche vermutlich auf den tierindividuell sehr unterschiedlichen Pubertätseintritt zurückzuführen ist (CLAUS et al., 1994).

Trotz einer tendenziell höheren Testosteronkonzentration der Gruppe IC12 zum Zeitpunkt S im Vergleich zu den Gruppen IC16 und IC18 ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Impfgruppen feststellen. Übereinstimmend konnten EINARSSON et al. (2011) keine signifikanten Unterschiede der Serum-Testosteronkonzentration einen Tag vor der Schlachtung zwischen den Impfgruppen, darunter eine standardvakzinierte (V1: 16. LW;

V2: 20. LW) und eine frühgeimpfte Gruppe (V1: 10. LW; V2: 14. LW), feststellen. Zusätzlich zeigten die Ergebnisse der aktuellen Studie, in Übereinstimmung mit BRUNIUS et al. (2011), keine signifikanten Unterschiede zwischen den Impfgruppen und der Kastratengruppe hinsichtlich der Testosteronkonzentration zum Zeitpunkt der Schlachtung (S). Der deutliche Effekt der Versuchsgruppe auf die Serum-Testosteronkonzentration zum Zeitpunkt der Schlachtung wurde auch in der Untersuchung von ALBRECHT et al. (2012) berichtet.

3.2. GnRH-Bindung

Zahlreiche Studien berichten übereinstimmend über einen sehr schnellen Antikörperanstieg nach der zweiten Impfung, wobei auch immer tierindividuelle Unterschiede eine Rolle spielen (DUNSHEA et al., 2001; CLAUS et al., 2007; BAUER et al., 2008; ROTTNER, 2012). So beschrieb ROTTNER (2012) die maximalen GnRH-Antikörpertiter nach acht bis elf Tagen, wohingegen CLAUS et al. (2007) die Maxima nach vier bis sechs Tagen beobachteten. Nach diesem Antikörpermaximum kam es zum raschen Absinken der GnRH-Titer gefolgt von einer asymptotischen Annäherung bis zum Versuchsende (BRUNIUS, 2011; ROTTNER, 2012). Demnach zeigte die früh geimpfte Gruppe (V1: 10.LW; V2:14.LW) in der Untersuchung von BRUNIUS (2011) zum Zeitpunkt der Schlachtung bereits niedrigere GnRH-Antikörpertiter als die standardvakzinierte Gruppe (V1: 16.LW; V2:20.LW). Auch die Ergebnisse des ersten Teilversuches unter standardisierten Bedingungen berichteten, dass die Gruppe IC18 zum Zeitpunkt der Schlachtung die größte mittlere GnRH-Bindung ($44,20 \pm 6,12\%$) aufwies, da der Abstand der zweiten Impfung zur Schlachtung nur sechs bis acht Wochen betrug. Hingegen zeigte die Gruppe IC12 die niedrigste mittlere GnRH-Bindung ($30,24 \pm 10,13\%$) mit zwölf bzw. 14 Wochen Abstand zur Schlachtung. Dass dabei vermutlich auch noch weitere Faktoren eine Rolle spielen verdeutlicht die Gruppe IC18X, welche eine größere GnRH-Bindung ($41,55 \pm 9,41\%$) 21 Wochen nach der zweiten Impfung als die Gruppe IC12 nach zwölf bzw. 14 Wochen aufwies.

Da hohe GnRH-Antikörpertiter zu niedrigen Serumtestosteronwerten führen (CLAUS et al., 2007), kann aufgrund der absteigenden absoluten GnRH-Bindung von Gruppe IC18 zu IC12 und der im Gegensatz dazu ansteigenden

Testosteronkonzentration, die gemessene Korrelation zwischen diesen beiden Parametern ($r=-0,653$; $p<0,001$) erklärt werden.

Aus anfänglich hohen Antikörpertitern kann allerdings nicht geschlussfolgert werden, dass daraus ein verzögertes Einsetzen der Hodenfunktion resultiert. So konnte ROTTNER (2012) zeigen, dass der Eber mit der geringsten Titerhöhe zwar zuerst mit dem Wiedereinsetzen der Hodenfunktion begann, jedoch die zwei Eber mit den höchsten Titern bereits an zweiter und vierter Stelle lagen.

Bereits zu V2 wurde ein Ansteigen der absoluten GnRH-Bindung von IC12 ($16,79 \pm 7,00\%$) zu IC18 ($24,58 \pm 3,36\%$) festgestellt. Da jedoch die GnRH-Werte der Gruppe IC18 und die Gruppe IC18X ($17,51 \pm 9,09\%$) deutliche Unterschiede aufwiesen, die sich so nicht erklären lassen, sollte diese ansteigende Tendenz nicht überinterpretiert werden. Darüber hinaus unterschieden sich die gemessenen GnRH-Bindungen zwischen den Versuchsgruppen statistisch nicht signifikant.

Die detektierten mittleren absoluten GnRH-Bindungen der Kastraten- und Ebergruppe ($4,85 \pm 0,24\%$ vs. $4,88 \pm 0,44\%$) lagen im Bereich der unspezifischen Bindung des analytischen Testverfahrens.

3.3. Serum-Testosteronkonzentration und GnRH-Bindung

Um den Erfolg der Impfung gegen Ebergeruch zu klassifizieren, wurden im ersten Teilversuch der vorliegenden Untersuchung Grenzwerte sowohl für die GnRH-Bindung als auch für die Serumtestosteron Konzentration definiert. Absolute GnRH-Bindungen über 17% bzw. Testosteronkonzentrationen unter 1,5ng/ml wurden als erfolgreiche Impfung kategorisiert, während GnRH-Bindungen unter 17% in Kombination mit Testosteronkonzentrationen über 1,5ng/ml als nicht erfolgreich galten. Alle Tiere der Gruppen IC16, IC18 und IC18X Tiere zeigten GnRH-Bindungen über 17%, wohingegen in Gruppe IC12 zwei Tiere GnRH-Bindungen unter 17% in Kombination mit Testosteronwerten über 1,5ng/ml aufwiesen. Aufgrund dieser Werte wurden diese zwei Tiere zum Zeitpunkt der Schlachtung als nicht ausreichend immunisiert eingestuft.

Ein möglicher Grund dafür könnte das Wiedereintreten der Hodenfunktion infolge des langen Zeitintervalls von V2 zu S (14 Wochen) sein (CLAUS et al., 2008). Gemäß dieser Hypothese wären die Tiere vermutlich zu einem früheren Zeitpunkt ausreichend immunisiert gewesen, aufgrund der Reversibilität der Impfung konnte allerdings die durch die Impfung unterdrückte Hormonproduktion im Hoden wieder beginnen.

Die Gründe für eine nicht erfolgreiche Impfung sind jedoch vielfältig und können auch in einfachen Fehlern bei der Impftechnik und Handhabung liegen, bis hin zu einer nicht ausreichend gebildeten oder fehlenden Immunantwort aufgrund gesundheitlicher Probleme des Tieres zum Zeitpunkt der Impfung (FONT et al., 2012). So beschrieben KUBALE et al. (2013) ein Tier als „non responder“, das im Vergleich zu anderen IC-Tieren höhere Androstenonwerte, höherer Gewichte der Hoden und akzessorischen Geschlechtsorgane, sowie höhere Testosteronwerte aufwies. Auch die beiden Tiere der IC12 Gruppe zeigten neben erhöhten Testosteronkonzentrationen (Tier1: 11,29ng/ml vs. Tier2: 16,98ng/ml) und erniedrigten absoluten GnRH-Bindungen (Tier1: 10,41% vs. Tier2: 9,87%) auch größere Hodenabmessungen (Tier1: 12cm vs. Tier2: 9cm). Eines dieser beiden Tiere wies auch die höchsten Androstenonkonzentrationen aller Tiere der verschiedenen Versuchsgruppen auf (Tier1: 1484,0ng/g).

4. Fäkale Testosteronkonzentration

Die Blut-Testosteronkonzentration bei Ebern kann sich beispielsweise durch die Anwesenheit einer Sau im Östrus, innerhalb von Minuten verändern (CLAUS & ALSING, 1976). Diese Veränderungen im Blut sind jedoch erst sechs bis 30 Stunden später im Kot nachweisbar, weshalb durch die Testosteronbestimmung aus dem Kot plötzliche Veränderungen der Werte durch die Probennahme ausgeschlossen werden sollten (WESOLY et al., 2015). Einem Teil der Tiere pro Gruppe wurden dementsprechend alle zwei Wochen Kotproben entnommen, um den Testosteronverlauf zu verfolgen. Im Teilversuch 1 konnte anhand der erhobenen Daten und der Auswertung der Ergebnisse gezeigt werden, dass sich neben der Bestimmung der Testosteronkonzentration aus dem Serum (DUNSHEA et al., 2001; EINARSSON et al., 2011; ALBRECHT et al., 2012; ROTTNER, 2012) auch die fäkale Testosteronmessung eignet um Schwankungen festzustellen.

So zeigten, in Analogie zu den Testosteronmessungen aus dem Serum (ZAMARATSKAIA et al., 2008a; ALBRECHT et al., 2012; ROTTNER, 2012), auch die Kotproben, dass Eber von Beginn der Probennahme bis zum Ende der Untersuchungszeit einen kontinuierlichen Anstieg der Testosteronkonzentration zeigten, während Kastraten konstante Werte auf einem niedrigeren Niveau aufwiesen. Außerdem konnte anhand des gemischten linearen Modells mit einem zufälligen Effekt (Random Intercept) gezeigt werden, dass es Interaktionen gibt,

welche nicht alleine auf die Probenentnahmezeit zurückzuführen sind. So wies nur die Versuchsgruppe und der Probenentnahmezeitpunkt gemeinsam einen signifikanten Einfluss auf die Testosteronkonzentration auf.

Auch der im Blut feststellbare signifikante Abfall der Testosteronkonzentration zwei Wochen nach der zweiten Impfung (DUNSHEA et al., 2001; ALBRECHT et al., 2012) zeigte sich in ähnlicher Weise im Kot. Außerdem konnte der reversible Effekt der Impfung anhand der graphischen Darstellung (siehe Abbildung 9) durch wieder ansteigende fäkale Testosteronkonzentrationen genauer eruiert werden und vergleichbare Ergebnisse wie aus der Untersuchung von CLAUS et al. (2008) beschrieben werden. Dass die Wiederaufnahme der Hodenfunktion allerdings nicht gleichzeitig bedeutet, dass ab diesem Zeitpunkt auch hohe Androstenonwerte messbar ansteigen, zeigten die Ergebnisse der IC18X Gruppe: So konnte in der 39. LW in der IC18X Gruppe, neun Wochen nach dem Wiederanstieg der fäkalen Testosteronkonzentration, kein Tier mit erhöhten Androstenonwerten gefunden werden. Hingegen konnten bei zwei Tieren der Gruppe IC12 erhöhte Androstenonkonzentrationen nachgewiesen werden, obwohl der Abstand zu V2 „lediglich“ 14 Wochen betrug. Diese Werte unterstreichen die individuellen Unterschiede hinsichtlich endokriner Parameter.

5. Zeitpunkt der Reversibilität der Impfung

Aufgrund der graphischen Darstellung der fäkalen Testosteronkonzentration der IC18X Gruppe (siehe Abbildung 9), lässt sich schlussfolgern, dass die Testosteronkonzentration etwa zwölf Wochen nach V2 (LW30) wieder zu steigen beginnt und dadurch ab diesem Zeitpunkt mit dem Wiedereinsetzen der Hodenfunktion gerechnet werden muss. Vergleichsstudien beschreiben hinsichtlich des Wiedereinsetzens der Leydig-Zell-Funktion variable Werte von zehn bis 24 Wochen (CLAUS et al., 2008). Jedoch spielen vermutlich trotz wiedereinsetzender Hodenfunktion und beginnender Testosteronproduktion, bei den Folgeschritten der Androstenonproduktion bis zum Erreichen wahrnehmbarer Konzentrationen oberhalb der Geruchsschwelle, große tierindividuelle Unterschieden eine Rolle. So wies in der Gruppe IC18X kein Tier erhöhte Androstenonwerte zum Zeitpunkt der Schlachtung auf (21 Wochen nach V2), wohingegen in der Gruppe IC12 ein Tier erhöhte Werte zum Schlachtzeitpunkt (14 Wochen nach V2) zeigte.

6. Wachstumsleistung

Da im ersten Teilversuch die durchschnittlichen Tageszunahmen sowie die Futtermittelverwertung über den gesamten Versuchszeitraum beobachtet wurden, ließ sich kein Rückschluss auf eventuell schnelleres Wachstum der verschiedenen Impfgruppen nach der zweiten Impfung ziehen (DUNSHEA et al., 2001). Zudem müssen die in dem aktuellen Versuch gemessenen Werte bezüglich der Futtermittelverwertung vorsichtig interpretiert werden, da der Beginn der Messungen tierindividuell bei 30kg Lebendgewicht und nicht grundsätzlich bei Mastinstallation an einem bestimmten Stichtag begann. Dadurch sind höhere Futtermittelverwertungen als in Vergleichsstudien zu erwarten.

Über den gesamten Versuchszeitraum unterschieden sich die durchschnittlichen Tageszunahmen nicht signifikant zwischen den Versuchsgruppen, allerdings zwischen den Schlachtdurchgängen. Jedoch konnten hinsichtlich der Futtermittelverwertung signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen und den Schlachtdurchgängen festgestellt werden. So wiesen Eber die beste Futtermittelverwertung auf und unterschieden sich von allen anderen Gruppen, ausgenommen IC18, signifikant. Die Gruppe IC12 zeigte die schlechteste Futtermittelverwertung. Die Ergebnisse bezüglich der durchschnittlichen Tageszunahmen entsprechen denen von ANDERSSON et al. (2012), konnten allerdings die Ergebnisse der Futtermittelverwertung nicht bestätigen. Vergleichbare Ergebnisse wie ANDERSSON et al. (2012) zeigten auch ZAMARATSKAIA et al. (2008a). PAULY et al. (2009) beschrieben hingegen, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung, eine bessere Futtermittelverwertung der Eber verglichen zu Kastraten. Außerdem zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den durchschnittlichen Tageszunahmen und dem Schlachtdurchgang, welcher sich durch die Schlachtung der schwereren Tiere mit besseren Tageszunahmen im ersten Schlachtdurchgang erklären lässt.

7. Fettqualität

Verschiedene Studien beschäftigen sich mit der unterschiedlichen Schlachtkörperzusammensetzung von Ebern, Sauen und Kastraten (BARTON-GADE, 1987; BABOL & SQUIRES, 1995; BAUER & JUDAS, 2014). So zeigen Eber im Vergleich zu weiblichen Tieren und Kastraten sowohl weniger subkutanes und inter- sowie intramuskuläres, als auch weniger

perirenal-retroperitoneales Fett (BABOL & SQUIRES, 1995). Die Ergebnisse von Teilversuch 1 stimmen mit diesen Studien überein und bestätigen den geringsten intramuskulären Fettgehalt (IMF-Gehalt) in der Gruppe E und den höchsten IMF-Gehalt bei Kastraten. Die IC-Tiere wiesen IMF-Gehalte zwischen Ebern und Kastraten auf, was auch die Ergebnisse der Untersuchung von SAUER (2015) zeigten. Dabei wurden signifikant niedrigere Rückenspeckdicken bei intakten Ebern und IC-Tieren im Vergleich zu Kastraten ($p < 0,001$) und zusätzlich signifikante Unterschiede zwischen Ebern und Immunokastraten festgestellt ($p < 0,05$). Wie auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, konnte auch SAUER (2015) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Impfgruppen hinsichtlich der Rückenspeckmessung erkennen. LAUBE et al. (2000) berichteten durchschnittliche IMF-Gehalte in deutschen Schweineprodukten von 1,2 bis 1,5%, was die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen. Die beschriebenen Ergebnisse der IC-Tiere, mit IMF-Werten zwischen Ebern und Kastraten, lassen sich durch die Impfung erklären. Bis zur zweiten Impfung sind GnRH vakzinierte Tiere wie Eber zu betrachten und erst danach verändert sich deren Körperzusammensetzung durch höhere Futteraufnahmen, schnelleres Wachstum in Kombination mit weniger sozialer und sexueller Aktivität, da die bereitgestellte Energie genutzt wird um Fett einzulagern (DUNSHEA et al., 2001; CRONIN et al., 2003; FÀBREGA et al., 2010; MILLET et al., 2011). SAUER (2015) konnte jedoch auch ohne gemessene Futteraufnahmesteigerung nach der zweiten Impfung diese Positionierung der IC-Tiere zwischen Kastraten und Ebern feststellen. Zudem lassen sich die deutlichen Unterschiede zwischen den Schlachtkörpern von intakten Ebern im Vergleich zu kastrierten Ebern (sowohl chirurgisch als auch immunologisch) als auch im Vergleich zu weiblichen Sauen durch das Vorhandensein anaboler Steroide und dem daraus resultierenden ansteigenden anabolen Potential erklären (CLAUS et al., 1994; BAUER & JUDAS, 2014). Diese anabolen Steroide führen zu der bekannten Reihung Eber, Sauen und Kastraten, wobei die Eber den höchsten Magerfleischanteil beziehungsweise den niedrigsten Fettanteil aufweisen.

Jedoch zeigten in der vorliegenden Untersuchung nicht nur die IMF-Gehalte Unterschiede zwischen den Gruppen, auch die Fettsäurezusammensetzung stellte sich unterschiedlich dar. Die Untersuchung von PAULY et al. (2009) beschrieb eine klare Tendenz der Abnahme an gesättigten Fettsäuren von den Kastraten zu den IC-Tieren, bzw. von den IC-Tieren zu den intakten Ebern, wobei sich bei den

einfach ungesättigte Fettsäuren (MUFA) keine Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen feststellen ließen. BARTON-GADE (1987) zeigte ebenso bei Ebern höhere Anteile an mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA) im Vergleich zu Kastraten und gegensätzlich Werte für gesättigte Fettsäuren (SFA). Auch SAUER (2015) konnte vergleichbare Unterschiede feststellen. Der hohe Grad an ungesättigten Fettsäuren in der Gruppe der Eber wird hauptsächlich durch den hohen Anteil an Linolsäure (18:2) und Linolensäure (18:3) und dem niedrigen Gehalt an Palmitinsäure (16:0) verursacht (SMITHARD et al., 1980). Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit kamen mit den höchsten PUFA- und niedrigsten SFA-Werten in der Ebergruppe zum gleichen Ergebnis, jedoch zeigten die höchsten SFA- und niedrigsten PUFA-Werte Tiere der IC-Gruppen und nicht die der Kastratengruppe wie in Vergleichsstudien (PAULY et al., 2009; SAUER, 2015). Innerhalb der IC-Tiere (exklusive IC18X) wies die Gruppe IC12 die höchsten mittleren PUFA- und niedrigsten mittleren SFA-Werte, die Gruppe IC16 die niedrigsten PUFA- und die Gruppe IC18 die höchsten SFA-Werte auf. Den niedrigsten mittleren PUFA-Wert aller Versuchsgruppen zeigte die Gruppe IC18X ($13,0 \pm 0,6\%$). Sowohl SFA und MUFA, als auch PUFA unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen IC12, IC16 und IC18, ausgenommen der mittlere SFA-Gehalt zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen IC12 und IC16 bzw. IC18. Auch SAUER (2015) konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen der früh und der spät geimpften IC-Gruppe feststellen. Die von MACKAY et al. (2013) beschriebene Ähnlichkeit des Fettsäureprofils zwischen intakten Ebern und GnRH vakzinierten Tieren konnte in der aktuellen Untersuchung nicht bestätigt werden.

Eine Studie von KOUBA und MOUROT (1998) belegt, dass mit der Nahrung aufgenommene mehrfach ungesättigte Fettsäuren zu einer Down- Regulation der Stearoyl-CoA Desaturase Aktivität, einem wichtigen Enzym in der Metabolisierung einfach ungesättigter Fettsäuren aus SFA, führen können. Dabei zeigten die Autoren, dass Futter mit einem höheren Anteil an Linolensäure zu einem niedrigeren MUFA- und höheren SFA-Gehalt im Fett führt (KOUBA & MOUROT, 1998). Da in der vorliegenden Studie alle Tiere mit dem gleichen Futter gefüttert wurden, muss die Futterraufnahme der einzelnen Versuchsgruppen berücksichtigt werden. Die Gruppe der intakten Eber zeigte den niedrigsten Futtermittelverbrauch kombiniert mit den höchsten durchschnittlichen PUFA-Konzentrationen im Fett, weshalb die eben beschriebene Verbindung

zwischen PUFA-Aufnahme und PUFA-Werten im Fett für die festgestellten Werte verantwortlich sein könnte. Diese Erklärung trifft in der aktuellen Untersuchung allerdings nur auf die Ebergruppe zu und lässt sich nicht auf die Kastraten- bzw. IC-Gruppe übertragen. FONT et al. (2012) beschrieben hingegen, dass der PUFA-Metabolismus durch Geschlecht und Impfung nicht nennenswert beeinflusst wird.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten außerdem in der Gruppe der intakten Eber die höchsten Jod-Werte im Vergleich zu allen anderen Gruppen. Jod-Werte größer als 70 (70g Jod/ 100g Fett) werden als Indikator für sehr weiches, schlecht haltbares Fett angesehen (BARTON-GADE, 1987). Die festgestellten Ergebnisse stimmen mit denen der Untersuchung von BARTON-GADE (1987), in der ebenso die höchsten Jod-Werte bei Ebern festgestellt wurden, überein. Allerdings zeigten die eigenen Ergebnisse in Analogie zu den PUFA-Werten, die niedrigsten Jod-Werte in der Gruppe der IC-Tiere, nicht in der Gruppe der Kastraten.

Es ist zu bedenken, dass die Fettsäurezusammensetzung auch noch anderen Faktoren außer dem Geschlecht unterliegt. Darunter zum Beispiel der Rasse, der Futterzusammensetzung und dem Alter der Tiere (BEE, 2001; WOOD et al., 2008; KOUBA & SELIER, 2011). In der vorliegenden Studie sollten diese Faktoren durch standardisierte Bedingungen weitgehend ausgeschlossen werden.

8. Schlachtparameter

Das durchschnittliche Schlachtgewicht (warm) im ersten Teilversuch zeigte in Übereinstimmung mit SAUER (2015) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tieren der verschiedenen Versuchsgruppen. Ähnlich wie die Ergebnisse von ZAMARATSKAIA et al. (2008a) zeigen auch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung hinsichtlich der Messung der pH-Werte, eine und 24 Stunden nach der Schlachtung, keine signifikanten Unterschiede. Die in der vorliegenden Untersuchung gemessenen Speckschichten an Widerrist, Rückenmitte, Lende sowie Seite zeigten an allen Stellen signifikante Unterschiede innerhalb der Versuchsgruppen mit den niedrigsten Werten bei Ebern, gefolgt von Kastraten und den höchsten Werten bei IC-Tieren. Eine Ausnahme bildete dabei der Seitenspeck. Hier wies die Kastratengruppe höhere Werte als die Gruppe IC16 auf. Innerhalb der IC-Tiere zeigten sich an allen Lokalisationen keine signifikanten Unterschiede. HÜGEL (2010) konnte an ähnlichen Lokalisationen,

im Gegensatz dazu, höhere Werte bei Kastraten als bei GnRH vakzinierten Tieren zeigen. Auch SAUER (2015) berichtete von höheren Rückenspeckdicken bei Kastraten im Vergleich zu Immunokastraten und den geringsten Speckschichten bei intakten Ebern, weshalb die aktuellen Ergebnisse nicht überbewertet werden sollten und für die Interpretation der Ergebnisse evtl. zusätzliche Parameter, wie tierindividuelle Unterschiede, in Betracht gezogen werden müssen.

Die Hennessy Muskelfleischanteils-Messung zeigte die größten Werte bei intakten Ebern, wobei die in Tabelle 7 beschriebene Signifikanz lediglich den Unterschied zwischen Gruppe E und Gruppe IC12 repräsentiert. HÜGEL (2010) beschrieb in seiner Untersuchung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen, wobei keine Eber, sondern nur Kastraten und geimpfte Tiere miteinander verglichen wurden. Die Fleischfläche zeigte, ähnlich wie die Ergebnisse von HÜGEL (2010), keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, wobei intakte Eber erwartungsgemäß die größte Fleischfläche aufwiesen. Messungen der Fettfläche zeigten in der Ebergruppe entsprechend niedrigere Werte, wohingegen die Gruppe der Kastraten die größten Werte aufwies. Die Messungen der Leitfähigkeit 24 Stunden nach der Schlachtung im Schinken und Kotelett ergab keine signifikanten Unterschiede, ähnlich wie die Untersuchungen von ALUWÉ et al. (2016) welche allerdings die Messungen bereits 45min post mortem durchführten.

9. Ebergeruch

Zahlreiche Studien bezüglich der Effektivität in der Verhinderung des Auftretens von Ebergeruch durch die GnRH Vakzine Improvac[®] (Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) kommen zum übereinstimmenden Ergebnis, dass durch die GnRH Vakzinierung sowohl die Androstenon, als auch die Skatolkonzentration in den Schlachtkörpern reduziert wird (DUNSHEA et al., 2001; JAROS et al., 2005; ZAMARATSKAIA et al., 2008a; BATOREK et al., 2012). Während die Skatolkonzentration hauptsächlich durch den bakteriellen Abbau der Aminosäure Tryptophan im Darmtrakt von Schweinen entsteht (CLAUS et al., 1994), wird Androstenon in den Leydig-Zellen des Hodens synthetisiert (GOWER, 1972; ALDAL et al., 2005; CHEN, 2007; ZAMARATSKAIA & SQUIRES, 2009). Die enge Beziehung zwischen der Androstenonbildung und der Hodenfunktion erklärt, warum der suppressive Effekt der GnRH Vakzine auf die Hodenfunktion (EINARSSON et al., 2009), in Folge auch zu niedrigen Androstenonwerten führt.

Die ebenfalls reduzierten Skatolkonzentrationen im Vergleich zu intakten Ebern lassen sich durch den hemmenden Einfluss des Androstenons auf die Expression von CYP2E1 (DORAN et al., 2002), neben CYP2A einem weiteren wichtigem Schlüsselenzym im Skatolmetabolismus, erklären (BABOL et al., 1998a; DORAN et al., 2002). Die wichtige Rolle der CYP2A und CYP2E1 Expression für den Skatolmetabolismus wurde bereits von DIAZ und SQUIRES (2000a) besonders hervorgehoben. Deren Untersuchungen ergaben, dass Inhibitoren dieser beiden Enzyme die Skatolkonzentration beeinflussen (DIAZ & SQUIRES, 2000a). Demnach führen auch hohe Androstenonkonzentrationen tendenziell zu höheren Skatolkonzentrationen (DORAN et al., 2004).

Trotz dieser gegenseitigen Beeinflussung konnte, in Übereinstimmung mit BABOL et al. (2002), im ersten Teilversuch unter Versuchsbedingungen keine signifikante Korrelation zwischen den Androstenon- und Skatolkonzentrationen sowohl der Eber- als auch bei den IC-Gruppen gefunden werden. Diese Ergebnisse konnten im dritten Teilversuch unter Feldbedingungen bei der IC-Gruppe bestätigt werden, hingegen ergab sich in diesem Teilversuch eine mäßige Korrelation zwischen der Androstenon- und Skatolkonzentration der Ebergruppe ($\rho=0,606$; $p<0,05$). Auch WALSTRA et al. (1999) zeigten eine schwache Korrelation zwischen beiden Ebergeruchsstoffen ($r=0,30$). Die im ersten Teilversuch gezeigte mäßige Korrelation in den IC-Gruppen (exklusive IC18X) zwischen der Androstenon- und Serum-Testosteronkonzentration zum Zeitpunkt der Schlachtung ($\rho=0,577$; $p<0,001$) wurde in ähnlicher Weise auch von CLAUS et al. (2007) beschrieben ($\rho=0,669$; $p<0,001$).

Als Grenzwerte für Ebergeruch gelten in vielen Studien 1000ng/g Fett für die Androstenonkonzentration und 200ng/g Fett für die Skatolkonzentration (WALSTRA et al., 1999; DUNSHEA et al., 2001). In Verbraucherstudien wurde nachgewiesen, dass Konzentrationen über diesen Grenzwerten zur Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung des Eberfleisches führen (WALSTRA et al., 1999; BONNEAU et al., 2000; MATTHEWS et al., 2000).

Im ersten Teilversuch zeigten mit der GnRH Vakzine geimpfte Tiere niedrigere durchschnittliche Androstenon- und Skatolkonzentrationen (IC-Gruppen, exklusive IC18X: Androstenon: $105,08 \pm 114,42$ ng/g; Skatol: $72,64 \pm 36,91$ ng/g) im Vergleich zu intakten Ebern (Androstenon: $407,79 \pm 291,64$ ng/g; Skatol: $125,63 \pm 88,47$ ng/g), wobei sich auch Unterschiede zwischen den Impfgruppen erkennen ließen. So zeigten beispielsweise alle IC16 und IC18 Tiere

Androstenon- und Skatolkonzentrationen unterhalb der Grenzwerte, wohingegen zwei Tiere aus Gruppe IC12 Konzentrationen über den Grenzwerten aufwiesen. Ein Tier der Gruppe IC12 zeigte dabei sogar die höchste Androstenonkonzentration aller Versuchsgruppen (1484,0ng/g). Die Ursache für die Abweichung dieser zwei IC12 Tiere von den Grenzwerten liegt vermutlich an dem langen Zeitintervall (14 Wochen) zwischen der zweiten Impfung und der Schlachtung, da beide Tiere erst am zweiten Schlachtdurchgang (26. LW) geschlachtet wurden. Diese Annahme beruht auf der Untersuchung von CLAUS et al. (2008) die beschreibt, dass die Wiederherstellung der normalen Leydig-Zell-Funktion hohen tierindividuellen Unterschieden unterliegt und bei den ersten Tieren bereits zehn Wochen nach der zweiten Impfung physiologische Leydig-Zellen beobachtet werden können. Gegenätzlich dazu zeigte eine Studie zur frühen Improvac[®] Impfung, dass auch früh geimpfte Tiere verlässlich niedrige Skatol- und Androstenonkonzentrationen aufweisen können, wobei in dieser Studie das Zeitintervall von der zweiten Impfung bis zur Schlachtung elf Wochen betrug und die Tiere die erste Impfung in der 10. LW und die zweite Impfung in der 14. LW erhielten (BRUNIUS et al., 2011). Den hohen Grad an tierindividuellen Unterschieden unterstreichen in der vorliegenden Studie allerdings auch die Ergebnisse der IC18X Tiere. Diese wurden 21 Wochen nach der zweiten Impfung geschlachtet und lediglich ein Tier zeigte hohe Skatolwerte und bei keinem Tier wurden hohe Androstenonwerte detektiert. Eine weitere Studie, die die Langzeiteffekte der Improvac[®] Vakzine untersuchte, zeigte wiederum, dass die Effekte der GnRH Vakzinierung, bei einem Impfregime laut Herstellerempfehlung, bis zu 22 Wochen nach der zweiten Impfung hinsichtlich des Verhaltens und der Verhinderung des Ebergeruches anhalten können (ZAMARATSKAIA et al., 2008b).

Wie auch in anderen Studien bereits untersucht, zeigten auch die Ergebnisse des ersten und dritten Teilversuches der vorliegenden Untersuchung, dass intakte Eber, sowohl unter Versuchs- als auch Feldbedingungen, im Vergleich zu Immunokastraten, chirurgisch kastrierten Tieren oder auch weiblichen Tieren, eine große Streuung sowohl in den Androstenon-, als auch den Skatolwerten aufweisen (LUNDSTRÖM et al., 1988; DUNSHEA et al., 2001; ZAMARATSKAIA et al., 2008b; PAULY et al., 2009). So zeigten Eber im ersten Teilversuch unter standardisierten Versuchsbedingungen Androstenonkonzentrationen zwischen 60 und 1335ng/g bzw.

Skatolkonzentrationen zwischen 26 und 403ng/g. Dabei wiesen ein Tier Androstenon- und drei Tiere Skatolkonzentrationen oberhalb der Grenzwerte auf. Im dritten Teilversuch unter Praxisbedingungen wurden Androstenonkonzentrationen zwischen 60 und 5000ng/g bzw. Skatolkonzentrationen zwischen 74 und 341ng/g gemessen, wobei vier Tiere Androstenon- und drei Tiere Skatolkonzentrationen oberhalb der Grenzwerte zeigten. Für die große Streuung ist hauptsächlich der tierindividuell unterschiedliche Pubertätseintritt der Eber und die damit verbundene unterschiedlich einsetzende Androstenonproduktion verantwortlich (CLAUS et al., 1994). Die größte Streuung der Androstenonkonzentration zeigte im ersten Teilversuch die Gruppe IC12 (60-1484ng/g), wobei die Gründe für solch hohe Androstenonkonzentrationen bereits weiter oben genannt wurden.

Neben dem Einfluss der Versuchsgruppe auf die Androstenon- bzw. Skatolkonzentration konnte im ersten Teilversuch ebenfalls ein signifikanter Einfluss des Schlachtzeitpunktes auf die Skatolkonzentration nachgewiesen werden. So zeigten sowohl die Gruppe der intakten Eber, als auch alle IC-Gruppen zum zweiten Schlachttermin signifikant niedrigere Skatolkonzentrationen im Vergleich zum ersten Schlachtzeitpunkt. Die Untersuchung von WESOLY et al. (2015) zeigte, dass sowohl die Transportzeit als auch die Aufladezeit auf den Viehtransporter mögliche Einflussfaktoren für erhöhte Skatolkonzentrationen am Schlachthof darstellen. Auch Stress und Kämpfe vor der Schlachtung können zur Erhöhung der Skatolkonzentration beitragen (WESOLY et al., 2015) und als mögliche Erklärung für die Unterschiede zwischen beiden Schlachtterminen herangezogen werden.

10. Penisverletzungen

Das vermehrte Aggressionsverhalten intakter Eber im Vergleich zu weiblichen Tieren (RYDHMER et al., 2006) in Kombination mit vermehrtem Aufreitverhalten (HINTZE et al., 2013), insbesondere sexuell orientiertem Aufreiten (RYDHMER et al., 2006), kann neben Lahmheiten oder anderen Gliedmaßen assoziierten Krankheiten (RYDHMER et al., 2006) zu Penisbeißen mit schwerwiegenden Penisverletzungen führen (WEILER et al., 2016). Der ausgeschachtete Penis führt beim Aufreiten dazu, dass andere Buchtengenossen in den erigierten Penis des aufreitenden Ebers beißen (ISERNHAGEN, 2015). Wiederum können bei Kastraten-Penissen keinerlei Verletzungen nachgewiesen

werden, da bei juvenilen Ebern eine Verbindung zwischen Präputium und Penis existiert, das *Frenulum penis*, die das Ausschachten des Penisses vor der Pubertät verhindert (ISERNHAGEN, 2015; WEILER et al., 2016). Aus diesem Grund wurden Kastraten in der vorliegenden Untersuchung aus der Penisbonitur ausgeschlossen. Das vollständige Ausschachten und somit die Loslösung des Penisses vom Präputium ist laut HÜHN (2013) erst im Alter von 18 Wochen möglich, da sich mit Beginn der Pubertät diese Verbindung zwischen Penis und Präputium durch Friktionsbewegungen der Hüfte löst.

Bezüglich der Thematik „Penisbeißen“ gibt es nur sehr wenig wissenschaftliche Studien und demnach ist der derzeitige Informationsstand bezüglich dieses Themas noch sehr gering. Eine Untersuchung von WEILER et al. (2016) zeigte, dass Verletzungen der Penisse auch in der Wildnis bei Wildschweinen vorkommen und demnach nicht auf die Intensivierung der Produktionssysteme in der Schweinemast zurückzuführen sind. 40% der Wildschweinenpenisse und 64,0 – 94,9% der Penisse von Masttieren wiesen Penisverletzungen auf (WEILER et al., 2016).

Um den aktuellen Wissensstand bezüglich Penisverletzungen bei intakten Ebern unter Mastbedingungen zu verbessern, wurden in allen drei Versuchsteilen im Rahmen dieser Dissertation Penisverletzungen zwischen intakten Ebern und GnRH vakzinierten Tieren vergleichend bonitiert, wobei dabei verschiedene Schwerpunkte gesetzt wurden.

Der zweite Teilversuch, in dem die Penisverletzungen von intakten Ebern mit denen von GnRH-vakzinierten Ebern in einem Praxisbetrieb in einem Mastdurchgang vergleichend über vier Schlachtdurchgänge untersucht wurden, zeigte, dass die GnRH-Vakzination von Ebern die Häufigkeit und den Schweregrad von Penisverletzungen im Vergleich zu intakten, ungeimpften Ebern signifikant reduziert. Diese Reduktion von Penisverletzungen lässt sich durch die nach der zweiten Impfung ansteigenden Antikörper gegen endogenes GnRH und dem damit zusammenhängenden Abfall der Testosteronkonzentration erklären, welcher wiederum zu reduziertem aggressiven und sexuell motivierten Verhalten, vor allem dem für Penisbeißen ursächlichen „Aufreitverhalten“ bzw. „Aufreiten“, führt. Außerdem konnte gezeigt werden, dass es in der Ebergruppe, im Gegensatz zur Impfgruppe, mit steigendem Alter der Tiere zu einem nahezu linearen Anstieg der Anzahl an Narben kommt. Eine Erklärung für diesen Anstieg könnte das Ansteigen sexueller Aktivität, aber auch das Andauern während der Mastperiode

sein (ISERNHAGEN, 2015), wobei gegenteilig andere Autoren abnehmende sexuelle Aktivität mit steigendem Gewicht berichten (FÀBREGA et al., 2010; RYDHMER et al., 2010).

Die Ergebnisse des ersten Teilversuches unter standardisierten Versuchsbedingungen bestätigten die Reduktion an Penisverletzungen durch die GnRH-Vakzination und zeigten zusätzlich, dass es auch Unterschiede in der Anzahl der Penisverletzungen zwischen den verschiedenen Impfzeitpunkten gibt. So zeigte die Gruppe IC12 mit 16,7% die geringste und die Gruppe IC18 mit 41,7% die größte Anzahl an Penisverletzungen. Die Gruppe IC16 lag mit 29,2% zwischen den Gruppen IC12 und IC18 ($p > 0,05$).

Eine Erklärung für das Ansteigen der Penisverletzungen von Gruppe IC12 zu IC18 gibt das Zeitintervall von der zweiten Impfung zur Schlachtung. Aufgrund des früheren zweiten Impfzeitpunktes der Gruppe IC12, kommt es folglich zu einer früheren Reduktion des aggressiven und sexuell motivierten Verhaltens im Vergleich zu den anderen IC-Gruppen. Dies führt wiederum zu einer ebenso frühen Reduktion des für Penisbeißen ursächlichen Aufreitverhaltens. Dadurch erschließt sich auch die ansteigende Anzahl an Penisverletzungen von der Gruppe IC12 zur Gruppe IC18. Die größte Anzahl an Penisverletzungen aller IC-Gruppen in der IC18X Gruppe (71,43%), lässt sich durch das potentielle Wiederauftreten von Eberverhalten, aufgrund der Reversibilität der Impfung (CLAUS et al., 2008) und dem dadurch wiederauftretenden Aufreitverhalten erklären. Auch die Ergebnisse im Feldversuch, dritter Teilversuch, bestätigten die geringere Anzahl an Penisverletzungen bei GnRH vakzinierten Tieren.

Zur Ätiologie, der in den verschiedenen Teilversuchen beschriebenen hypertrophischen Peniskämme, existieren nach aktuellem Kenntnisstand noch keine wissenschaftlichen Erklärungen. Allerdings wurde auch in der Untersuchung von ISERNHAGEN (2015) bereits auf diese Thematik hingewiesen und als Grund für eine Verdickung des Penisses, die Reibung der ausgeschachteten Penisse am Rücken anderer Eber als mögliche Ursache genannt. Durch die bei diesem Aufreiten entstehende mechanische Beanspruchung des Peniskammes könnte es, ähnlich wie bei der mechanischen Überbeanspruchung der Haut (RUBIN, 1949), zu einer Hyperkeratose und in Folge zur Verdickung des Kammes kommen. Da der Peniskamm aufgrund der spiralförmigen Drehung den größten Kontaktbereich zwischen Penis und dem Rücken des besprungenen

Tieres bietet, ist es nachvollziehbar, dass die Verdickung lediglich den Kamm betrifft (ISERNHAGEN, 2015).

11. Akzessorische Geschlechtsorgane

Durch die bei der Impfung gegen Ebergeruch entstehende Blockade der hypothalamo-hypophysären Hormonachse kommt es in weiterer Folge nicht nur zu Veränderungen am Hoden, sondern auch an den akzessorischen Geschlechtsorganen (OONK et al., 1995; ZAMARATSKAIA et al., 2008a; EINARSSON et al., 2009; BRUNIUS et al., 2011). Mehrere Autoren beschreiben eine durch die Impfung abnehmende Hodengröße (OONK et al., 1995) und ein abnehmendes Hodengewicht (JAROS et al., 2005; ZAMARATSKAIA et al., 2008a; BRUNIUS et al., 2011). Die Hodengröße und das Hodengewicht werden von OONK et al. (1995) sogar als Parameter für die Geruchsauffälligkeit, insbesondere der Androstenonkonzentration, herangezogen. Auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie, erster Teilversuch, zeigten deutlich, dass die Hodengröße durch die Impfung abnimmt und Eber signifikant größere Hoden als geimpfte Tiere (Gruppe IC16 und IC18) aufwiesen. Zwischen der Hodengröße der Eber und den Gruppen IC12 und IC18X konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Der Grund dafür liegt vermutlich in dem langen Zeitintervall von V2 zur Schlachtung (IC12: zwölf (n=2) bzw. 14 Wochen (n=19); IC18X: 21 Wochen (n=6)) und der dadurch wieder aufgenommenen Hodenfunktion einzelner Tiere, wobei Untersuchungen gezeigt haben, dass dieser Zeitpunkt tierindividuell sehr variabel sein kann (CLAUS et al., 2008). Allerdings kann sich auch nach der Wiederaufnahme der Hodenfunktion die Hodengröße variabel weiterentwickeln. So beschreibt ROTTNER (2012) bezüglich der Wiederaufnahme der Hodenfunktion bei immunokastrierten Ebern, dass nur ein Teil der Tiere, die früh mit dem Wiedereinsetzen der Hormonproduktion begannen, das Hodengewicht der Kontrolleber (intakter Eber) erreichten, wohingegen der andere Teil der Tiere die Hodengewichte der Kontrolleber sogar übertraf. Diese Entwicklung könnte nach ROTTNER (2012) mit einem „Rebound-Phänomen“ zusammenhängen, wie es auch in der pubertären Entwicklung stattfindet (ALLRICH et al., 1982), wenn die Hodenfunktion bis zum Erreichen des Reifezustandes in einem wellenartigen Muster optimiert wird (ALLRICH et al., 1983). Als Ursache für die tierindividuellen Unterschiede bezüglich des Wiedereinsetzens der Hodenfunktion nach dem Abfall des GnRH-

Antikörpertiters beschreibt ROTTNER (2012) eine variable Resistenz gegen die Wirksamkeit von LH und dadurch einen je nach Tier verspäteten Eintritt der Funktion der Leydig-Zellen.

Die akzessorischen Geschlechtsdrüsen werden hauptsächlich durch Testosteron und Östrogen kontrolliert, da gezeigt wurde, dass die Gabe dieser Hormone an Kastraten eine signifikante Steigerung der sekretorischen Aktivität der akzessorischen Geschlechtsdrüsen zur Folge hat (JOSHI & RAESIDE, 1973). In Analogie dazu zeigten die Ergebnisse der vorliegenden Studie, dass auch die untersuchten akzessorischen Geschlechtsorgane durch die Impfung und der damit verbundenen Abnahme an Geschlechtshormonen, eine Größenreduktion erfuhren. BRUNIUS et al. (2011), EINARSSON et al. (2009) und ZAMARATSKAIA et al. (2008b) berichteten übereinstimmend eine deutliche Reduktion der Bulbourethraldrüsenlänge von Immunokastraten verglichen mit Ebern. BATOREK et al. (2012) verglichen außerdem die Bulbourethraldrüsenlänge zwischen geimpften und chirurgisch kastrierten Tieren und finden kleinere Bulbourethraldrüsen bei Letzteren. Da die Kastratengruppe in der aktuellen Untersuchung nicht beprobt wurde, kann diese Aussage nicht verifiziert werden. KUBALE et al. (2013) zeigten außerdem neben einer signifikanten Reduktion des Hoden-, und Bulbourethraldrüsengewichtes geimpfter Tiere verglichen mit intakten Ebern, ebenso eine Reduktion des Prostatagewichts.

Die Aussage, dass früh geimpfte Tiere kleinere Reproduktionsorgane als später geimpfte Tiere aufweisen (BRUNIUS et al., 2011) konnte die aktuelle Studie nicht bestätigen. Gegensätzlich dazu zeigten alle gemessenen Parameter der IC12 Gruppe tendenziell höhere Werte als die beiden anderen Impfgruppen IC16 und IC18, was vermutlich ebenso mit dem Wiedereinsetzen der Hodenfunktion und der damit verbundenen Testosteronbildung zu erklären ist. Mit dieser Hypothese lassen sich auch die signifikant höheren Unterschiede der IC18X Gruppe verglichen mit den Gruppen IC12, IC16 und IC18 (ausgenommen Samenblasendrüsensbreite- und -länge) erklären, da der Abstand von 21 Wochen von V2 zur Schlachtung deutlich länger als bei den Vergleichsgruppen ist.

12. Limitierungen

Im Rahmen dieser Dissertation wurden im ersten Teilversuch verschiedene Impfschemata auf gewisse Parameter untersucht. Dabei zeigten zwei Tiere der Gruppe IC12 zum Zeitpunkt der Schlachtung absolute GnRH Bindungskapazitäten $<17\%$. Außerdem wiesen zwei Tiere derselben Gruppe Androstenon- bzw. Skatolkonzentrationen oberhalb der Grenzwerte auf. Aufgrund des Studiendesigns konnte allerdings nicht unterschieden werden, ob es sich bei den Tieren um Impfversager (non-responder) oder um anfangs erfolgreich immunisierte und später, aufgrund der reversiblen Wirkung der Impfung, wieder rückfällig gewordene Tiere mit Eberverhalten, handelte, da die Schlachtung außerhalb des vom Hersteller vorgegebenen Zeitraums erfolgte. Um diese Unterscheidung zeigen zu können, wäre eine weiterführende Untersuchung, welche diese Fragestellung erläutert, wünschenswert. Darüber hinaus wäre eine Erhöhung der Tierzahlen der jeweiligen Impfgruppen von Vorteil um die doch sehr hohen gemessenen tierindividuellen Unterschiede zu minimieren.

Auch die Effekte einer dritten Impfung anhand unterschiedlicher Impfschemata wären Thema einer weiteren wissenschaftlichen Arbeit.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel des ersten Teilversuches (TV) unter definierten Versuchsbedingungen war es den Einfluss verschiedener Impfzeitpunkte der GnRH Vakzine Improvac® (Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) auf verschiedene Parameter vergleichend mit intakten Ebern (E) und Kastraten (C) zu untersuchen. Hierzu wurden die Parameter Ebergeruch, Verhalten und Penisverletzungen im dritten TV unter Feldbedingungen überprüft. Der zweite TV verglich die Penisverletzungen von E und GnRH vakzinierten Tieren (IC) eines Mastdurchganges in einem Betrieb mit langjähriger Erfahrung mit Ebermast über vier Schlachtdurchgänge. Zusätzlich wurden im dritten TV, unter Praxisbedingungen, Hautverletzungen vergleichend zwischen E und IC zu verschiedenen Untersuchungszeitpunkten untersucht. Dazu wurden im ersten TV die Tiere in der 8. und 12. Lebenswoche (LW) (IC12), 12. und 16. LW (IC16) bzw. 12. und 18. LW (IC18 und IC18X) vakziniert. Im zweiten TV erhielten die IC-Tiere die Impfungen in der 12. und 17. LW, bzw. im dritten TV in der 15. und 19. LW. Im ersten und dritten TV reduzierten sich sowohl die „Aufreitversuche“ als auch das „Aufreiten“ bei IC von der zweiten Impfung (V2) bis zwei Wochen danach (NK). Darüber hinaus konnte im dritten TV eine Abnahme der Hautverletzungen bei IC von V2 zu NK (1,74 zu 0,73 Hautverletzungen pro Tier), verglichen zu 2,29 und 1,85 Hautverletzungen pro Tier bei E, festgestellt werden. Alle IC-Gruppen wiesen unter standardisierten Versuchsbedingungen (TV1) eine signifikante Abnahme der fäkalen Testosteronkonzentration nach V2 auf. Ab der 30. LW zeigte die Gruppe IC18X, in der die Reversibilität der Impfung überprüft werden sollte, ein Ansteigen der fäkalen Testosteronkonzentrationen. Außerdem konnte in den Gruppen IC16 und IC18 zum Schlachtzeitpunkt (S) eine signifikante Abnahme der Serum-Testosteronkonzentration im Vergleich zu V2 festgestellt werden. Die absolute GnRH-Bindung bei IC korrelierte mit der Serum-Testosteronkonzentration negativ im erstern TV und die Regressionsberechnung zeigte einen signifikanten Einfluss der absoluten GnRH-Bindung auf die Serum Testosteronkonzentration. Unter Feldbedingungen (dritter TV) wiesen vier Tiere der Ebergruppe Androstenon- und drei Tiere Skatolkonzentrationen oberhalb der Grenzwerte auf, wohingegen unter standardisierten Versuchsbedingungen (erster TV) ein Tier Androstenon- und drei Tiere Skatolkonzentrationen oberhalb der Grenzwerte

zeigten. Hingegen konnten bei allen Tieren der Gruppen IC16 und IC18 Konzentrationen unterhalb der Grenzwerte beobachtet werden. Lediglich jeweils ein Tier der Gruppe IC12 wies Androstenon bzw. Skatolkonzentrationen über den Grenzwerten auf. Hinsichtlich der Futtermittelverwertung wurden im ersten TV signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen gezeigt, nicht jedoch bei den Tageszunahmen. Bei der Fettqualität (IMF-Gehalte, SFA, MUFA, PUFA, IV-Werte) wiesen E die niedrigsten IMF-Gehalte, C die höchsten und IC dazwischenliegende Werte auf. Außerdem zeigten E die höchsten PUFA- und IV- sowie die niedrigsten SFA- Werte, wohingegen IC die niedrigsten PUFA- und IV- bzw. höchsten SFA- Werte aufwiesen. Darüber hinaus konnten bei den Messungen der Hoden und akzessorischen Geschlechtsorgane bei IC überwiegend kleinere Organe, im Vergleich zu E festgestellt werden. Der zweite TV zeigte, dass die GnRH-Vakzination die Häufigkeit und den Schweregrad von Penisverletzungen im Vergleich zu E signifikant reduziert. Außerdem wiesen E im Gegensatz zu ICs, mit zunehmender Mastdauer der Tiere einen nahezu linearen Anstieg der Anzahl an Narben bis zur Schlachtung auf. Die Ergebnisse des ersten und dritten TV bestätigten die Reduktion an Penisverletzungen durch die GnRH-Vakzination, wobei der erste TV zusätzlich zeigte, dass es auch Unterschiede zwischen den Impfzeitpunkten gibt. So wurde in der Gruppe IC12 mit 16,7% die geringste und in der Gruppe IC18 mit 41,7% die größte Anzahl an Penisverletzungen festgestellt. Die Gruppe IC16 lag mit 29,2% zwischen beiden Gruppen.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die GnRH Vakzine das Auftreten von Ebergeruch zuverlässig verhindert, sofern das vom Hersteller empfohlenen Zeitfenster (zehn Wochen von V2 zum letzten Schlachtzeitpunkt) nicht überschritten wird, da zwei Tiere der IC12 Gruppe erhöhte Ebergeruchswerte aufwiesen. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Testosteronbestimmung aus dem Kot, im Vergleich zum Serum, ein ebenso geeignetes Verfahren darstellt, um Veränderung des Testosteronverlaufs zu erkennen. Die neu etablierten Grenzwerte der absoluten GnRH-Bindung und Serum-Testosteronkonzentration können außerdem als Parameter zur Impferfolgsbestimmung herangezogen werden. Die Impfung führte zu einer Reduktion der Aufreitversuche, Haut- und Penisverletzungen verglichen zu intakten Ebern, sowie zu einer besseren Futtermittelverwertung (ausgenommen IC12), niedrigeren IMF- und PUFA-Werten verglichen zu Kastraten.

VII. SUMMARY

The aim of the first part of the present investigation (P1) under standardized experimental conditions was to investigate the influence of different vaccination schemes of a GnRH vaccine (Improvac[®], Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) on different parameters compared with entire males (E) and castrates (C), whereupon the parameters boar taint, behavior and penile injuries were reviewed in the third part of the present investigation (P3). Additionally, skin lesions were compared at different occasion times between E and GnRH vaccinated animals (IC) in P3. In the second part (P2) penile injuries of E and IC were compared within four consecutive batches of a commercial fattening farm selected due to a known experience in rearing E.

For this purpose, IC from P1 were vaccinated in the 8th and 12th weeks of life (wk) (IC12), 12th and 16th wk (IC16) and 12th and 18th wk (IC18 and IC18X) respectively. In P2 IC received vaccinations in the 12th and 17th wk and in P3 in the 15th and 19th wk.

In P1 and P3 both, “mounting attempts” and “mountings” were reduced in IC from second vaccination (V2) to two weeks after V2 (NK). Additionally, in P3 a decrease in skin lesions of IC from V2 to NK (1.74 to 0.73 skin lesions per animal) compared to 2.29 and 1.85 skin lesions per animal at E were found. All IC groups showed a significant decrease in fecal testosterone concentration after V2 in P1. From the 30th wk, IC18X showed an increase in fecal testosterone concentration. IC16 and IC18 showed at time of slaughter (S) a significant decrease in serum testosterone concentration compared to V2. In P1 absolute GnRH binding in IC negatively correlated with serum testosterone concentration and regression analysis revealed a significant effect of absolute GnRH binding on serum testosterone concentration. Under field conditions (P3) four animals of E showed androstenone and three animals skatole concentrations above the threshold limits, whereas under standardized experimental conditions (P1) one animal had androstenone and three animals skatole concentrations above the limits. In contrast, all animals of IC16 and IC18 had concentrations below the threshold of acceptability. Only one animal of IC12 had androstenone or skatole concentrations above the limits each. With regard to feed conversion ratio in P1, significant differences between groups could be displayed, however, not in daily

weight gain. With regard to fat quality (IMF-levels, SFA, MUFA, PUFA, IV values), E showed lowest IMF levels, C highest and IC values intermediate. Additionally, E displayed highest PUFA and IV, as well as lowest SFA values, whereas IC had the lowest PUFA and IV, and highest SFA values. The reduction in size of testes and accessory reproductive organs was major for IC compared to E.

The results of P2 showed that GnRH vaccination significantly reduced frequency and severity of penile injuries compared to E. In addition, E showed an almost linear increase in the number of scars with increasing fattening time up to slaughter, in contrast to IC. The reduction of penile injuries through GnRH vaccination could be confirmed by results from P1 and P3, whereupon in P1 additionally differences between the vaccination schemes could be displayed. Thus, IC12 showed lowest (16.7%), IC18 highest (41.7%) and IC16 intermediate (29.2%) numbers of penile injuries.

To conclude, it could be shown that the GnRH vaccine Improvac[®] (Fa. Zoetis Deutschland GmbH, Berlin) reliably prevents carcasses from boar taint, as long as the recommended timeframe (10 weeks from V2 to last slaughter occasion) is not exceeded, since two animals of IC12 showed increased boar taint levels. In addition it could be shown that fecal testosterone determination, in comparison to determination of serum, is an equally suitable method to detect changes in testosterone progression. The newly established limits of absolute GnRH and serum testosterone concentration can also be used as a predictor of vaccination success. The vaccination resulted in a reduction of “mounting attempts”, skin lesions and penile injuries in comparison to E, as well as in better feed conversion ratio (except IC12), lower IMF-values and PUFA concentrations compared to C.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

AGRARMARKT-AUSTRIA. Daten und Fakten der Agrar Markt Austria für den Bereich Vieh und Fleisch K-Ö. Statistik Austria, Österreich. Zugriff am 28. Juli 2017. https://www.ama.at/getattachment/c9170514-b892-46ff-9e27-f2fd74e0d9b9/220_schlachtgew_2005-2016.pdf.

AHMAD, N. und D. GOWER. The biosynthesis of some androst-16-enes from C21 and C19 steroids in boar testicular and adrenal tissue. *Biochemical Journal* 1968; 108: 233-241.

ALBRECHT, A.-K., E. GROSSE BEILAGE, E. KANITZ, B. PUPPE, I. TRAULSEN und J. KRIETER. Influence of immunisation against GnRF on agonistic and mounting behaviour, serum testosterone concentration and body weight in male pigs compared with boars and barrows. *Applied Animal Behaviour Science* 2012; 138: 28-35.

ALDAL, I., Ø. ANDRESEN, A. K. EGELI, J.-E. HAUGEN, A. GRØDUM, O. FJETLAND und J. L. H. EIKAAS. Levels of androstenone and skatole and the occurrence of boar taint in fat from young boars. *Livestock Production Science* 2005; 95: 121-129.

ALLRICH, R. D., R. K. CHRISTENSON, J. J. FORD und D. R. ZIMMERMAN. Pubertal Development of the Boar: Testosterone, Estradiol-17 β , Cortisol and LH Concentrations before and after Castration at various Ages^{1,2,3}. *Journal of Animal Science* 1982; 55: 1139-1146.

ALLRICH, R. D., R. K. CHRISTENSON, J. J. FORD und D. R. ZIMMERMAN. Pubertal Development of the Boar: Age-Related Changes in Testicular Morphology and in Vitro Production of Testosterone and Estradiol-17 β ^{1,2}. *Biology of Reproduction* 1983; 28: 902-909.

ALUWÉ, M., I. DEGEZELLE, L. DEPUYDT, D. FREMAUT, A. VAN DEN BROEKE und S. MILLET. Immunocastrated male pigs: effect of 4 v. 6 weeks

time post second injection on performance, carcass quality and meat quality. *Animal* 2016; 10: 1466-1473.

ANDERSSON, H., M. WALLGREN, L. RYDHMER, K. LUNDSTRÖM, K. ANDERSSON und M. FORSBERG. Photoperiodic effects on pubertal maturation of spermatogenesis, pituitary responsiveness to exogenous GnRH, and expression of boar taint in crossbred boars. *Animal Reproduction Science* 1998; 54: 121-137.

ANDERSSON, K., C. BRUNIUS, G. ZAMARATSKAIA und K. LUNDSTROM. Early vaccination with Improvac[®]: effects on performance and behaviour of male pigs. *Animal* 2012; 6: 87-95.

ANDERSSON, K., A. SCHAUB, K. ANDERSSON, K. LUNDSTRÖM, S. THOMKE und I. HANSSON. The effects of feeding system, lysine level and gilt contact on performance, skatole levels and economy of entire male pigs. *Livestock Production Science* 1997; 51: 131-140.

ANDRESEN, Ø. Concentrations of fat and plasma 5 α -androstenedione and plasma testosterone in boars selected for rate of body weight gain and thickness of back fat during growth, sexual maturation and after mating. *Journal of Reproduction and Fertility* 1976; 48: 51-59.

ANDRESEN, Ø. Boar taint related compounds: Androstenedione/skatole/other substances. *Acta Veterinaria Scandinavica* 2006; 48: 1-4.

AUSTIN, C. J., L. EMBERSON und P. NICHOLLS. Purification and characterization of pheromaxin, the porcine steroid-binding protein. *The FEBS Journal* 2004; 271: 2593-2606.

AVV. Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Berlin, Deutschland. Anlage 4, 6.1-4. Bekanntmachung der Neufassung der AVV

Lebensmittelhygiene, vom 9. November 2009, zuletzt geändert durch
Verwaltungsvorschrift vom 20.10.2014 (BAnz AT 07.11.2014 B2).

BABOL, J. und E. J. SQUIRES. Quality of meat from entire male pigs. *Food Research International* 1995; 28: 201-212.

BABOL, J., E. J. SQUIRES und E. A. GULLETT. Factors affecting the level of boar taint in entire male pigs as assessed by consumer sensory panel. *Meat Science* 2002; 61: 33-40.

BABOL, J., E. J. SQUIRES und K. LUNDSTRÖM. Hepatic Metabolism of Skatole in Pigs by Cytochrome P4502E1. *Journal of Animal Science* 1998a; 76: 822-828.

BABOL, J., E. J. SQUIRES und K. LUNDSTRÖM. Relationship between oxidation and conjugation metabolism of skatole in pig liver and concentrations of skatole in fat. *Journal of Animal Science* 1998b; 76: 829-838.

BARTON-GADE, P. A. Meat and fat quality in boars, castrates and gilts. *Livestock Production Science* 1987; 16: 187-196.

BATOREK, N., M. ČANDEK-POTOKAR, M. BONNEAU und J. VAN MILGEN. Meta-analysis of the effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint compounds in pigs. *Animal* 2012; 6: 1330-1338.

BAUER, A. und M. JUDAS. Schlachtkörperqualität von Masteborn in Vergleich zu Sauen und Börgen. *Züchtungskunde* 2014; 5: 86.

BAUER, A., M. LACORN, K. DANOWSKI und R. CLAUS. Effects of immunization against GnRH on gonadotropins, the GH-IGF-I-axis and metabolic parameters in barrows. *Animal* 2008; 2: 1215-1222.

- BAUMGARTNER, J. Die Kastration männlicher Ferkel - Methoden und Bewertung. Nutztierschutztagung 2008, Irdning, Österreich. 2008; 5.
- BAUMGARTNER, J., R. BINDER, W. HAGMÜLLER, P. HOFBAUER, C. IBEN, U. SCALA und C. WINCKLER. Aktuelle Aspekte der Kastration männlicher Ferkel-2. Mitteilung: Alternativmethoden zur chirurgischen Kastration und zusammenfassende Bewertung. Wiener Tierärztliche Monatsschrift 2004; 91: 198-209.
- BEE, G. Dietary conjugated linoleic acids affect tissue lipid composition but not de novo lipogenesis in finishing pigs. *Animal Research* 2001; 50: 383-399.
- BERESKIN, B. und R. DAVEY. Genetic, sex and diet effects on pig carcass traits. *Journal of Animal Science* 1978; 46: 1581-1591.
- BERGSMA, R., E. KNOL und H. FEITSMA. Parameters of AI boars and predicted correlated responses of selection against boar taint. 58th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Dublin. 2007; Session 26.
- BERNAL-BARRAGAN, H. Physiologische und nutritive Einflüsse auf die Bildung von Skatol (3-Methylindol) im Dickdarm von Schweinen. Dissertation. Universität Hohenheim. 1992.
- BONNEAU, M. Compounds responsible for boar taint, with special emphasis on androstenone: A review. *Livestock Production Science* 1982; 9: 687-705.
- BONNEAU, M. Use of entire males for pig meat in the European Union. *Meat Science* 1998; 49: 257-272.
- BONNEAU, M. Factors affecting the level of androstenone. *Acta Veterinaria Scandinavica* 2006; 48: 1-3.

BONNEAU, M., G. CONSEIL, F. GIOVANNI, A.-M. MOUNIER und Y. PEIGNIER. Effects of age and live weight on fat 5α -androstenedione levels in young boars fed two planes of nutrition. *Reproduction Nutrition Développement* 1987; 27: 413-422.

BONNEAU, M., M. LE DENMAT, J. C. VAUDELET, J. R. VELOSO NUNES, A. B. MORTENSEN und H. P. MORTENSEN. Contributions of fat androstenedione and skatole to boar taint: I. Sensory attributes of fat and pork meat. *Livestock Production Science* 1992; 32: 63-80.

BONNEAU, M., P. WALSTRA, C. CLAUDI-MAGNUSSEN, A. J. KEMPSTER, E. TORNBERG, K. FISCHER, A. DIESTRE, F. SIRET, P. CHEVILLON, R. CLAUS, G. DIJKSTERHUIS, P. PUNTER, K. R. MATTHEWS, H. AGERHEM, M. P. BÉAGUE, M. A. OLIVER, M. GISPERT, U. WEILER, G. VON SETH, H. LEASK, M. FONT I FURNOLS, D. B. HOMER und G. L. COOK. An international study on the importance of androstenedione and skatole for boar taint: IV. Simulation studies on consumer dissatisfaction with entire male pork and the effect of sorting carcasses on the slaughter line, main conclusions and recommendations. *Meat Science* 2000; 54: 285-295.

BRAIN, P. F. und D. BENTON. Conditions of housing, hormones, and aggressive behavior. In: *Hormones and aggressive behavior*, Springer. 1983: 351-372.

BROOKS, R. I. und A. M. PEARSON. Steroid Hormone Pathways in the Pig, with Special Emphasis on Boar Odor: A Review. *Journal of Animal Science* 1986; 62: 632-645.

BRUNIUS, C. Early immunocastration of male pigs - effects on physiology, performance and behaviour. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala. 2011.

BRUNIUS, C., G. ZAMARATSKAIA, K. ANDERSSON, G. CHEN, M. NORRBY, A. MADEJ und K. LUNDSTRÖM. Early immunocastration of male

pigs with Improvac – Effect on boar taint, hormones and reproductive organs. *Vaccine* 2011; 29: 9514-9520.

BÜNGER, B., B. ZACHARIAS, P. GRÜN, E. THOLEN und H. SCHRADE. Agonistisches Verhalten von nicht kastrierten männlichen, weiblichen und kastrierten männlichen Mastschweinen unter LPA-Standard. *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung* 2011; 489: 117-127.

CHEN, G. Physiological and biochemical factors responsible for boar taint. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala. 2007.

CLARKE, I., J. WALKER, J. KREEGER, J. NAPPIER und J. CRANE. Inherent Food Safety of a Synthetic Gonadotropin-Releasing Factor (GnRF) Vaccine for the Control of Boar Taint in Entire Male Pigs. *International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine* 2008; 6: 7-14.

CLAUS, R. Messung des Ebergeruchsstoffes im Fett von Schweinen mittels eines Radioimmunotests. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 1976; 93: 38-47.

CLAUS, R. Fortschritte der Tierphysiologie und Tierernährung - Pheromone bei Säugetieren unter besonderer Berücksichtigung des Ebergeruchsstoffes und seiner Beziehung zu anderen Hodensteroiden. 10. Ausgabe. Parey, Singhofen, Deutschland. 1979: 1-136.

CLAUS, R. und W. ALSING. Einfluss von Choriongonadotropin, Haltungsänderung und sexueller Stimulierung auf die Konzentrationen von Testosteron im Plasma sowie des Ebergeruchsstoffes im Plasma und Fett eines Ebers. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 1976.

CLAUS, R., B. HOFFMANN und H. KARG. Determination of 5α -androst-16-en-3-one, a boar taint steroid in pigs, with reference to relationships to testosterone. *Journal of Animal Science* 1971; 33: 1293-1297.

- CLAUS, R., M. LACORN, K. DANOWSKI, M. C. PEARCE und A. BAUER. Short-term endocrine and metabolic reactions before and after second immunization against GnRH in boars. *Vaccine* 2007; 25: 4689-4696.
- CLAUS, R., S. ROTTNER und C. RUECKERT. Individual return to Leydig cell function after GnRH-immunization of boars. *Vaccine* 2008; 26: 4571-4578.
- CLAUS, R., U. WEILER und A. HERZOG. Physiological aspects of androstenone and skatole formation in the boar - A review with experimental data. *Meat Science* 1994; 38: 289-305.
- CLINIPHARM/CLINITOX. Improvac ad us. vet., Injektionslösung. Institut für Veterinärpharmakologie und -toxikologie, Zürich. Zugriff am 24. Januar 2018. http://www.vetpharm.uzh.ch/perldocs/index_y.htm.
- CONOVER, W. J. und R. L. IMAN. Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *The American Statistician* 1981; 35: 124-129.
- COOK, K. L., J. M. J. ROTHROCK, J. H. LOUGHRIN und K. C. DOERNER. Characterization of skatole-producing microbial populations in enriched swine lagoon slurry. *FEMS Microbiology Ecology* 2007; 60: 329-340.
- CRONIN, G. M., F. R. DUNSHEA, K. L. BUTLER, I. MCCAULEY, J. L. BARNETT und P. H. HEMSWORTH. The effects of immuno- and surgical-castration on the behaviour and consequently growth of group-housed, male finisher pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 2003; 81: 111-126.
- DEHNHARD, M., H. BERNAL-BARRAGAN und R. CLAUS. Rapid and accurate high-performance liquid chromatographic method for the determination of 3-methylindole (skatole) in faeces of various species. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications* 1991; 566: 101-107.

DESMOULIN, B., M. BONNEAU, A. FROUIN und J. P. BIDARD. Consumer testing of pork and processed meat from boars: The influence of fat androstenone level. *Livestock Production Science* 1982; 9: 707-715.

DIAZ, G. und E. SQUIRES. Phase II in vitro metabolism of 3-methylindole metabolites in porcine liver. *Xenobiotica* 2003; 33: 485-498.

DIAZ, G. J., K. W. SKORDOS, G. S. YOST und E. J. SQUIRES. Identification of phase I metabolites of 3-methylindole produced by pig liver microsomes. *Drug Metabolism and Disposition* 1999; 27: 1150-1156.

DIAZ, G. J. und E. J. SQUIRES. Metabolism of 3-Methylindole by Porcine Liver Microsomes: Responsible Cytochrome P450 Enzymes. *Toxicological Sciences* 2000a; 55: 284-292.

DIAZ, G. J. und E. J. SQUIRES. Role of Aldehyde Oxidase in the Hepatic in Vitro Metabolism of 3-Methylindole in Pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2000b; 48: 833-837.

DIESTRE, A., M. OLIVER, M. GISPERT, I. ARPA und J. ARNAU. Consumer responses to fresh meat and meat products from barrows and boars with different levels of boar taint. *Animal Science* 1990; 50: 519-530.

DORAN, E., F. M. WHITTINGTON, J. D. WOOD und J. D. MCGIVAN. Characterisation of androstenone metabolism in pig liver microsomes. *Chemico-Biological Interactions* 2004; 147: 141-149.

DORAN, E., F. W. WHITTINGTON, J. D. WOOD und J. D. MCGIVAN. Cytochrome P450IIE1 (CYP2E1) is induced by skatole and this induction is blocked by androstenone in isolated pig hepatocytes. *Chemico-Biological Interactions* 2002; 140: 81-92.

DUIJVESTIJN, N., E. F. KNOL, J. W. MERKS, R. P. CROOIJMANS, M. A. GROENEN, H. BOVENHUIS und B. HARLIZIUS. A genome-wide association study on androstenone levels in pigs reveals a cluster of candidate genes on chromosome 6. *BMC Genetics* 2010; 11: 42.

DUNSHEA, F. R., C. COLANTONI, K. HOWARD, I. MCCAULEY, P. JACKSON, K. A. LONG, S. LOPATICKI, E. A. NUGENT, J. A. SIMONS, J. WALKER und D. P. HENNESSY. Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. *Animal Science* 2001; 79: 2524-2535.

EINARSSON, S., K. ANDERSSON, M. WALLGREN, K. LUNDSTROM und H. RODRIGUEZ-MARTINEZ. Short- and long-term effects of immunization against gonadotropin-releasing hormone, using Improvac, on sexual maturity, reproductive organs and sperm morphology in male pigs. *Theriogenology* 2009; 71: 302-310.

EINARSSON, S., C. BRUNIUS, M. WALLGREN, K. LUNDSTROM, K. ANDERSSON, G. ZAMARATSKAIA und H. RODRIGUEZ-MARTINEZ. Effects of early vaccination with Improvac[®] on the development and function of reproductive organs of male pigs. *Animal Reproduction Science* 2011; 127: 50-55.

EUROPEAN-COMMISSION-PUBLIC-HEALTH. Improvac solution for injection. European Commission - Directorate-General for Health and Food Safety, Brussel. Zugriff am 24. Januar 2018.

https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2011/20110905107948/anx_107948_de.pdf.

FÀBREGA, E., X. PUIGVERT, J. SOLER, J. TIBAU und A. DALMAU. Effect of on farm mixing and slaughter strategy on behaviour, welfare and productivity in Duroc finished entire male pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 2013; 143: 31-39.

FÀBREGA, E., A. VELARDE, J. CROS, M. GISPERT, P. SUÁREZ, J. TIBAU und J. SOLER. Effect of vaccination against gonadotrophin-releasing hormone, using Improvac[®], on growth performance, body composition, behaviour and acute phase proteins. *Livestock Science* 2010; 132: 53-59.

FALVO, R. E., V. CHANDRASHEKAR, R. D. ARTHUR, A. R. KUENSTLER, T. HASSON, C. AWONIYI und B. D. SCHANBACHER. Effect of active immunization against LHRH or LH in boars: reproductive consequences and performance traits. *Journal of Animal Science* 1986; 63: 986-994.

FERNANDEZ, X., G. MONIN, A. TALMANT, J. MOUROT und B. LEBRET. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat - 2. Consumer acceptability of m. longissimus lumborum. *Meat Science* 1999; 53: 67-72.

FISCHER, J., P. W. ELSINGHORST, M. BUCKING, E. THOLEN, B. PETERSEN und M. WUST. Development of a candidate reference method for the simultaneous quantitation of the boar taint compounds androstenone, 3alpha-androstenol, 3beta-androstenol, skatole, and indole in pig fat by means of stable isotope dilution analysis-headspace solid-phase microextraction-gas chromatography/mass spectrometry. *Analytical Chemistry* 2011; 83: 6785-6791.

FONT, I. F. M., M. GISPERT, J. SOLER, M. DIAZ, J. A. GARCIA-REGUEIRO, I. DIAZ und M. C. PEARCE. Effect of vaccination against gonadotrophin-releasing factor on growth performance, carcass, meat and fat quality of male Duroc pigs for dry-cured ham production. *Meat Science* 2012; 91: 148-154.

FREDRIKSEN, B. und C. HEXEBERG. The effect of removing animals for slaughter on the behaviour of the remaining male and female pigs in the pen. *Research in Veterinary Science* 2009; 86: 368-370.

FREDRIKSEN, B., B. M. LIUM, C. H. MARKA, B. MOSVEEN und O. NAFSTAD. Entire male pigs in farrow-to-finish pens - Effects on animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 2008; 110: 258-268.

FRIEDEN, L., C. GROBE-BRINKHAUS, C. NEUHOFF, K. SCHELLANDER, C. LOOFT und E. THOLEN. Möglichkeiten zur Reduktion von geschlechtsbedingten Geruchsabweichungen am Schlachtkörper von männlichen, unkastrierten Mastschweinen-Teil 2: Genetische Fundierung des Merkmals Ebergeruch und genetische Beziehungen zu paternalen und maternalen Reproduktionsleistungen. *Züchtungskunde* 2014; 86: 297-318.

FRIEDEN, L., C. LOOFT und E. THOLEN. Breeding for reduced boar taint. *Lohmann Information* 2011; 46: 21-27.

FRIEDEN, L., C. NEUHOFF, C. GROBE-BRINKHAUS, M. CINAR, K. SCHELLANDER, C. LOOFT und E. THOLEN. Züchterische Möglichkeiten zur Verminderung der Ebergeruchsproblematik bei Schlachtschweinen. *Züchtungskunde* 2012; 84: 394-411.

GIERSING, M. und A. ANDERSSON. How does former acquaintance affect aggressive behaviour in repeatedly mixed male and female pigs? *Applied Animal Behaviour Science* 1998; 59: 297-306.

GOWER, D. B. 16-Unsaturated C19 steroids a review of their chemistry, biochemistry and possible physiological role. *Journal of Steroid Biochemistry* 1972; 3: 45-103.

GRINDFLEK, E., T. AASMUNDSTAD, H. HAMLAND, M. HANSEN, T. NOME, M. KENT, P. TORJESEN und S. LIEN. Revealing genetic relationships between compounds affecting boar taint and reproduction in pigs. *Journal of Animal Science* 2011; 89: 680-692.

GROTH, W. und R. CLAUS. Beziehungen zwischen den Konzentrationen von Testosteron und dem Ebergeruchstoff 5 α -Androst-16-en-3-on im Blut bzw. Fettgewebe und histometrischen Befunden im Hoden vom Schwein. *Transboundary and Emerging Diseases* 1977; 24: 103-121.

GUNN, M., P. ALLEN, M. BONNEAU, D. V. BYRNE, S. CINOTTI, B. FREDRIKSEN, L. L. HANSEN, A. H. KARLSSON, A. M. G. LINDER und K. LUNDSTRÖM. Opinion of the scientific panel on animal health and welfare on a request from the commission related to welfare aspects of the castration of piglets. *EFSA Journal* 2004; 91: 1-18.

HANSEN, B. und A. LEWIS. Effects of dietary protein concentration (corn: soybean meal ratio) and body weight on nitrogen balance of growing boars, barrows, and gilts: mathematical descriptions. *Journal of Animal Science* 1993; 71: 2110-2121.

HANSEN, L., A. LARSEN, B. B. JENSEN und J. HANSEN-MØLLER. Short time effect of zinc bacitracin and heavy fouling with faeces plus urine on boar taint. *Animal Science* 1997; 64: 351-363.

HANSEN, L. L., A. E. LARSEN, B. B. JENSEN, J. HANSEN-MØLLER und P. BARTON-GADE. Influence of stocking rate and faeces deposition in the pen at different temperatures on skatole concentration (boar taint) in subcutaneous fat. *Animal Science* 1994; 59: 99-110.

HANSSON, K.-E., K. LUNDSTROM und S. FJELKNER-MODIG. The importance of androstenone and skatole for boar taint. *Swedish Journal of Agricultural Research* 1980; 10: 167-173.

HAWE, S., N. WALKER und B. MOSS. The effects of dietary fibre, lactose and antibiotic on the levels of skatole and indole in faeces and subcutaneous fat in growing pigs. *Animal Science* 1992; 54: 413-419.

HENDRIKS, W. und M. KING. A Review of the Literature on Boar Taint for New Zealand Pork. Massey University, Palmerston North, New Zealand 2002.

HINTZE, S., D. SCOTT, S. TURNER, S. L. MEDDLE und R. B. D'EATH. Mounting behaviour in finishing pigs: Stable individual differences are not due to

dominance or stage of sexual development. *Applied Animal Behaviour Science* 2013; 147: 69-80.

HOLM, S. A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics* 1979; 6: 65-70.

HOLMES, C., J. CARR und G. PEARSON. Some aspects of the energy and nitrogen metabolism of boars, gilts and barrows given diets containing different concentrations of protein. *Animal Science* 1980; 31: 279-289.

HONEYFIELD, D. und J. CARLSON. Assay for the enzymatic conversion of indoleacetic acid to 3-methylindole in a ruminal *Lactobacillus* species. *Applied and Environmental Microbiology* 1990; 56: 724-729.

HÜGEL, T. Überprüfung der Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit der Impfung gegen Ebergeruch im Feldversuch: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit der Impfung gegen Ebergeruch. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München. 2010.

HÜHN, U. Sexualeigenschaften von Jungebern im Pubertätsalter. *Nutztierpraxis Aktuell* 2013; 44: 4-9.

ISERNHAGEN, M. Haltung von Ebern unter herkömmlichen Mastbedingungen - Einfluss auf Tiergesundheit und Wohlbefinden. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München. 2015.

JAROS, P., E. BÜRGI, K. D. C. STÄRK, R. CLAUS, D. HENNESSY und R. THUN. Effect of active immunization against GnRH on androstenone concentration, growth performance and carcass quality in intact male pigs. *Livestock Production Science* 2005; 92: 31-38.

JENSEN, M., R. COX und B. B. JENSEN. Microbial production of skatole in the hind gut of pigs given different diets and its relation to skatole deposition in backfat. *Animal Science* 1995; 61: 293-304.

JOSHI, H. und J. RAESIDE. Synergistic effects of testosterone and oestrogens on accessory sex glands and sexual behaviour of the boar. *Journal of Reproduction and Fertility* 1973; 33: 411-423.

KNARREBORG, A., J. BECK, M. JENSEN, A. LAUE, N. AGERGAARD und B. B. JENSEN. Effect of non-starch polysaccharides on production and absorption of indolic compounds in entire male pigs. *Animal Science* 2002; 74: 445-453.

KOUBA, M. und J. MOUROT. Effect of a high linoleic acid diet on Δ^9 -desaturase activity, lipogenesis and lipid composition of pig subcutaneous adipose tissue. *Reproduction Nutrition Development* 1998; 38: 31-37.

KOUBA, M. und P. SELIER. A review of the factors influencing the development of intermuscular adipose tissue in the growing pig. *Meat Science* 2011; 88: 213-220.

KUBALE, V., N. BATOREK, M. SKRLEP, A. PRUNIER, M. BONNEAU, G. FAZARINC und M. CANDEK-POTOKAR. Steroid hormones, boar taint compounds, and reproductive organs in pigs according to the delay between immunocastration and slaughter. *Theriogenology* 2013; 79: 69-80.

LAUBE, S., M. HENNING, H. BRANDT, E. KALLWEIT und P. GLODEK. Meat quality in pig crosses with special quality characteristics as compared to present standard and brand pork supply. *Archiv für Tierzucht* 2000; 43: 463-476.

LAUTERBACH, E. Schlachtkörperzusammensetzung und -qualität von Mastebern. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München. 2012.

LEE, G., A. ARCHIBALD, A. LAW, S. LLOYD, J. WOOD und C. HALEY.
Detection of quantitative trait loci for androstenone, skatole and boar taint in a cross between Large White and Meishan pigs. *Animal Genetics* 2005; 36: 14-22.

LEHNERT, H. Kastrations-Ausstieg bis 2017 nicht zu schaffen! *Top Agrar*. 2016; 3: 9-10.

LI, C.-Y., J.-X. LIU, Y.-Z. WANG, Y.-M. WU, J.-K. WANG und Y.-Y. ZHOU.
Influence of differing carbohydrate sources on l-tryptophan metabolism by porcine fecal microbiota studied in vitro. *Livestock Science* 2009; 120: 43-50.

LUNDSTRÖM, K., B. MALMFORS, G. MALMFORS, S. STERN, H. PETERSSON, A. B. MORTENSEN und S. E. SØRENSEN. Skatole, androstenone and taint in boars fed two different diets. *Livestock Production Science* 1988; 18: 55-67.

MACKAY, J., M. C. PEARCE, S. THEVASAGAYAM und O. DORAN. Fatty acid composition and lipogenic enzyme protein expression in subcutaneous adipose tissue of male pigs vaccinated against boar taint, barrows, and entire boars. *Journal of Animal Science* 2013; 91: 395-404.

MALMFORS, B. und K. LUNDSTRÖM. Consumer reactions to boar meat - A review. *Livestock Production Science* 1983; 10: 187-196.

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 und M. BONNEAU.
An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: III. Consumer survey in seven European countries. *Meat Science* 2000; 54: 271-283.

MELOEN, R. H., J. A. TURKSTRA, H. LANKHOF, W. C. PUIJK, W. M. M. SCHAAPER, G. DIJKSTRA, C. J. G. WENSING und R. B. OONK. Efficient

immunocastration of male piglets by immunoneutralization of GnRH using a new GnRH-like peptide. *Vaccine* 1994; 12: 741-746.

MELROSE, D., H. REED und R. PATTERSON. Androgen steroids associated with boar odour as an aid to the detection of oestrus in pig artificial insemination. *The British Veterinary Journal* 1971; 127: 497-502.

METZ, C. Endokrine Reaktionen von Ebern auf die aktive Immunisierung gegen Gonadotropin-Releasing Hormon. Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen. 2003.

MILLET, S., K. GIELKENS, D. DE BRABANDER und G. P. J. JANSSENS. Considerations on the performance of immunocastrated male pigs. *Animal* 2011; 5: 1119-1123.

MÖRLEIN, D. Zerstörungsfreie Bestimmung des intramuskulären Fettgehaltes (IMF) im Kotelett von Schweinen mittels Ultraschall. *Züchtungskunde* 2007; 79: 81-91.

OONK, H. B., J. A. TURKSTRA, H. LANKHOF, W. M. M. SCHAAPER, J. H. M. VERHEIJDEN und R. H. MELOEN. Testis size after immunocastration as parameter for the absence of boar taint. *Livestock Production Science* 1995; 42: 63-71.

OONK, H. B., J. A. TURKSTRA, W. M. M. SCHAAPER, J. H. F. ERKENS, M. H. SCHUITEMAKER-DE WEERD, A. VAN NES, J. H. M. VERHEIJDEN und R. H. MELOEN. New GnRH-like peptide construct to optimize efficient immunocastration of male pigs by immunoneutralization of GnRH. *Vaccine* 1998; 16: 1074-1082.

PATTERSON, R. 5α -androst-16-ene-3-one:—Compound responsible for taint in boar fat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1968; 19: 31-38.

PAULY, C., P. SPRING, J. V. O'DOHERTY, S. AMPUERO KRAGTEN und G. BEE. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of group-penned surgically castrated, immunocastrated (Improvac®) and entire male pigs and individually penned entire male pigs. *Animal* 2009; 3: 1057-1066.

PAULY, C., P. SPRING, J. V. O'DOHERTY, S. AMPUERO KRAGTEN und G. BEE. Performances, meat quality and boar taint of castrates and entire male pigs fed a standard and a raw potato starch-enriched diet. *Animal* 2008; 2: 1707-1715.

QUALITÄTSSICHERUNG. Chronik - Verzicht auf betäubungslose Ferkelkastration 2007 - 2016. QS, Bonn, Deutschland. Zugriff am 19. Juni 2017. <https://www.q-s.de/pressemeldungen/ausstieg-betaeubungslose-ferkelkastration.html?highlight=chronik&>.

QUINTANILLA, R., O. DEMEURE, J. BIDANEL, D. MILAN, N. IANNUCELLI, Y. AMIGUES, J. GRUAND, C. RENARD, C. CHEVALET und M. BONNEAU. Detection of quantitative trait loci for fat androstenone levels in pigs. *Journal of Animal Science* 2003; 81: 385-394.

REITER, S., S. ZÖLS, M. RITZMANN, V. STEFANSKI und U. WEILER. Penile Injuries in Immunocastrated and Entire Male Pigs of One Fattening Farm. *Animals* 2017; 7: 71.

ROTTNER, S. Wiederaufnahme der Hodenfunktion bei Ebern nach Immunisierung gegen das Gonadotropin Releasing Hormon (GnRH) mit dem kommerziellen Antigen IMPROVAC®. Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen. 2012.

RUBIN, L. Hyperkeratosis in Response to Mechanical Irritation - From the Section of Dermatology. *Journal of Investigative Dermatology* 1949; 13: 313-315.

RYDHMER, L., M. HANSSON, K. LUNDSTRÖM, C. BRUNIUS und K. ANDERSSON. Welfare of entire male pigs is improved by socialising piglets and keeping intact groups until slaughter. *Animal* 2013; 7: 1532-1541.

RYDHMER, L., K. LUNDSTROM und K. ANDERSSON. Immunocastration reduces aggressive and sexual behaviour in male pigs. *Animal* 2010; 4: 965-972.

RYDHMER, L., G. ZAMARATSKAIA, H. K. ANDERSSON, B. ALGERS, R. GUILLEMET und K. LUNDSTRÖM. Aggressive and sexual behaviour of growing and finishing pigs reared in groups, without castration. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science* 2006; 56: 109-119.

SAD, S., H. M. GUPTA, G. TALWAR und R. RAGHUPATHY. Carrier-induced suppression of the antibody response to a self-hapten. *Immunology* 1991; 74: 223.

SATHER, A. P., S. D. M. JONES und S. JOYAL. Feedlot performance, carcass composition and pork quality from entire male and female Landrace and Large White market-weight pigs. *Canadian Journal of Animal Science* 1991; 71: 29-42.

SAUER, F. Untersuchungen zu Schlachtkörperqualität und Ebergeruchsstoffen bei mit einem GnRH-Analogon geimpften, chirurgisch kastrierten und intakten männlichen Mastschweinen. Dissertation. Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig. 2015.

SCHULTE, E. und K. WEBER. Schnelle Herstellung der Fettsäuremethylester aus Fetten mit Trimethylsulfoniumhydroxid oder Natriummethylat. *European Journal of Lipid Science and Technology* 1989; 91: 181-183.

SELLIER, P., P. LE ROY, M. N. FOUILLOUX, J. GRUAND und M. BONNEAU. Responses to restricted index selection and genetic parameters for fat androstenone level and sexual maturity status of young boars. *Livestock Production Science* 2000; 63: 265-274.

SIMONSEN, H. B. Behaviour and distribution of fattening pigs in the multi-activity pen. *Applied Animal Behaviour Science* 1990; 27: 311-324.

SINCLAIR, P., S. HANCOCK, W. GILMORE und E. SQUIRES. Metabolism of the 16-androstene steroids in primary cultured porcine hepatocytes. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 2005; 96: 79-87.

SINCLAIR, P. und E. SQUIRES. Testicular sulfoconjugation of the 16-androstene steroids by hydroxysteroid sulfotransferase: Its effect on the concentrations of 5 {alpha}-androstenone in plasma and fat of the mature domestic boar. *Journal of Animal Science* 2005; 83: 358-365.

SKAANILD, M. T. und C. FRIIS. Cytochrome P450 sex differences in minipigs and conventional pigs. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology* 1999; 85: 174-180.

SMITHARD, R., W. SMITH und M. ELLIS. A note on the fatty acid composition of backfat from boars in comparison with gilts and barrows. *Animal Science* 1980; 31: 217-219.

SQUIRES, E. J. und K. LUNDSTRØM. Relationship Between Cytochrome P450IIE1 in Liver and Levels of Skatole and Its Metabolites in Intact Male Pigs. *Journal of Animal Science* 1997; 75: 2506-2511.

STATISTISCHES-BUNDESAMT. Durchschnittliches Schlachtgewicht von Schweinen in Deutschland in den Jahren 1900 bis 2016 (in Kilogramm). Statista 2018, Deutschland. Zugriff am 10. Januar 2018.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/163421/umfrage/schweine---schlachtgewicht/>.

TALWAR, G. P. Immunobiology of gonadotropin-releasing hormone. *Journal of Steroid Biochemistry* 1985; 23: 795-800.

THOMPSON, D. L. Immunization against GnRH in male species (comparative aspects). *Animal Reproduction Science* 2000; 60: 459-469.

THOMSEN, R., S. A. EDWARDS, B. B. JENSEN, T. ROUSING und J. T. SORENSEN. Weight and season affects androstenone and skatole occurrence in entire male pigs in organic pig production. *Animal* 2015; 9: 1577-1586.

TIERSCHG. Tierschutzgesetz. Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz, Berlin, Deutschland. §21, (1). Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 141 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626) geändert worden ist.

TURNER, S. P., M. J. FARNWORTH, I. M. S. WHITE, S. BROTHERSTONE, M. MENDEL, P. KNAP, P. PENNY und A. B. LAWRENCE. The accumulation of skin lesions and their use as a predictor of individual aggressiveness in pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 2006; 96: 245-259.

VARONA, L., O. VIDAL, R. QUINTANILLA, M. GIL, A. SANCHEZ, J. FOLCH, M. HORTOS, M. RIUS, M. AMILLS und J. NOGUERA. Bayesian analysis of quantitative trait loci for boar taint in a Landrace outbred population. *Journal of Animal Science* 2005; 83: 301-307.

VOLD, E. Fleischproduktionseigenschaften bei Ebern und Kastraten IV: Organoleptische und gaschromatographische Untersuchungen wasserdampflicher Stoffe des Rückenspeckes von Ebern. Norges Landbrukshogsk Meld 1970; 49: 25.

VON BORELL, E., J. BAUMGARTNER, M. GIERSING, N. JÄGGIN, A. PRUNIER, F. A. M. TUYTTENS und S. A. EDWARDS. Animal welfare implications of surgical castration and its alternatives in pigs. *Animal* 2009; 3: 1488-1496.

WAGNER, A. und R. CLAUS. Involvement of glucocorticoids in testicular involution after active immunization of boars against GnRH. *Reproduction* 2004; 127: 275-283.

WALSTRA, P. Fattening of young boars: Quantification of negative and positive aspects. *Livestock Production Science* 1974; 1: 187-196.

WALSTRA, P., C. CLAUDI-MAGNUSSEN, P. CHEVILLON, G. VON SETH, A. DIESTRE, K. R. MATTHEWS, D. B. HOMER und M. BONNEAU. An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: levels of androstenone and skatole by country and season. *Livestock Production Science* 1999; 62: 15-28.

WALSTRA, P. und H. MARSE. Investigation into sex odour of entire male pigs. IVO-Report C-147 1970.

WEILER, U., M. FONT I FURNOLS, K. FISCHER, H. KEMMER, M. A. OLIVER, M. GISPERT, A. DOBROWOLSKI und R. CLAUS. 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 Science* 2000; 54: 297-304.

WEILER, U., M. ISERNHAGEN, V. STEFANSKI, M. RITZMANN, K. KRESS, C. HEIN und S. ZÖLS. Penile Injuries in Wild and Domestic Pigs. *Animals* 2016; 6: 25.

WEILER, U. und R. WESOLY. Physiologische Aspekte der Androstenon- und Skatolbildung beim Eber. *Züchtungskunde* 2012; 84: 365-393.

WESOLY, R., I. JUNGBLUTH, V. STEFANSKI und U. WEILER. Pre-slaughter conditions influence skatole and androstenone in adipose tissue of boars. *Meat Science* 2015; 99: 60-67.

WILLIAMS, W., G. CROMWELL, T. STAHLY und J. OVERFIELD. The lysine requirement of the growing boar versus barrow. *Journal of Animal Science* 1984; 58: 657-665.

- WILLIAMSON, E. D., R. L. S. PATTERSON, E. R. BUXTON, K. G. MITCHELL, I. G. PARTRIDGE und N. WALKER. Immunization against 5 α -androstenone in boars. *Livestock Production Science* 1985; 12: 251-264.
- WOOD, J. D., M. ENSER, A. V. FISHER, G. R. NUTE, P. R. SHEARD, R. I. RICHARDSON, S. I. HUGHES und F. M. WHITTINGTON. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science* 2008; 78: 343-358.
- WYSOCKI, C. J., K. M. DORRIES und G. K. BEAUCHAMP. Ability to perceive androstenone can be acquired by ostensibly anosmic people. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 1989; 86: 7976-7978.
- XUE, J., G. D. DIAL, E. E. HOLTON, Z. VICKERS, E. J. SQUIRES, Y. LOU, D. GODBOUT und N. MOREL. Breed differences in boar taint: relationship between tissue levels boar taint compounds and sensory analysis of taint. *Journal of Animal Science* 1996; 74: 2170-2177.
- XUE, J., G. D. DIAL und J. E. PETTIGREW. Performance, carcass, and meat quality advantages of boars over barrows: A literature review. *Journal of Swine Health and Production* 1997; 5: 21-28.
- ZAMARATSKAIA, G., H. K. ANDERSSON, G. CHEN, K. ANDERSSON, A. MADEJ und K. LUNDSTROM. Effect of a gonadotropin-releasing hormone vaccine (Improvac) on steroid hormones, boar taint compounds and performance in entire male pigs. *Reproduction in Domestic Animals* 2008a; 43: 351-359.
- ZAMARATSKAIA, G., J. BABOL, H. K. ANDERSSON, K. ANDERSSON und K. LUNDSTRÖM. Effect of live weight and dietary supplement of raw potato starch on the levels of skatole, androstenone, testosterone and oestrone sulphate in entire male pigs. *Livestock Production Science* 2005a; 93: 235-243.
- ZAMARATSKAIA, G., G. CHEN und K. LUNDSTRÖM. Effects of sex, weight, diet and hCG administration on levels of skatole and indole in the liver and

hepatic activities of cytochromes P4502E1 and P4502A6 in pigs. *Meat Science* 2006; 72: 331-338.

ZAMARATSKAIA, G., L. RYDHMER, H. K. ANDERSSON, G. CHEN, S. LOWAGIE, K. ANDERSSON und K. LUNDSTROM. Long-term effect of vaccination against gonadotropin-releasing hormone, using Improvac, on hormonal profile and behaviour of male pigs. *Animal Reproduction Science* 2008b; 108: 37-48.

ZAMARATSKAIA, G., L. RYDHMER, G. CHEN, A. MADEJ, H. K. ANDERSSON und K. LUNDSTROM. Boar taint is related to endocrine and anatomical changes at puberty but not to aggressive behaviour in entire male pigs. *Reproduction in Domestic Animals* 2005b; 40: 500-506.

ZAMARATSKAIA, G. und E. J. SQUIRES. Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal* 2009; 3: 1508-1521.

IX. ANHANG

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1 Biosynthese von Δ16-Steroiden in Eberhoden (WEILER & WESOLY, 2012)</i>	20
<i>Abbildung 2 Mikrobielle Zersetzung des Tryptophans im Intestinaltrakt (CLAUS et al., 1994)</i>	23
<i>Abbildung 3 Stallplan der Versuchsgruppen C, E, IC12, IC16 und IC18</i>	41
<i>Abbildung 4 SekurusTM - Sicherheitsinjektor (Tube-System)</i>	42
<i>Abbildung 5 Modifizierte Lochsäge zur Fettprobenentnahme</i>	48
<i>Abbildung 6 Anzahl der Verhaltensparameter „Aufreitverhalten“, „Aufreiten“, „Kampf“ und „Beißen“ der Gruppen IC12, IC16 und IC18 zur zweiten Impfung (V2) und Nachkontrolle (NK)</i>	60
<i>Abbildung 7 Testosteronkonzentrationen und GnRH-Bindungen zum Zeitpunkt der Schlachtung S1(Δ), S2 (O) und S3 (\square) mit den Grenzl原因ien für Testosteron (1,5ng/ml) und GnRH-Bindung (17%)</i>	63
<i>Abbildung 8 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der fäkalen Testosteronkonzentration (ng/g) der Gruppen C, E, IC12, IC16 und IC18 von LW12 bis LW22</i>	65
<i>Abbildung 9 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der fäkalen Testosteronkonzentration (ng/g) der Gruppe IC18X von LW12 bis LW38</i>	66
<i>Abbildung 10 Androstenon- und Skatolkonzentrationen der Versuchsgruppen E, IC12, IC16 und IC18 zum Zeitpunkt der Schlachtung S1(Δ) und S2(O), sowie dem Schlachtzeitpunkt S3(\square) der Gruppe IC18X mit den Grenzl原因ien für Androstenon (1000ng/g) und Skatol (200ng/g)</i>	72
<i>Abbildung 11 Anzahl der Verhaltensparameter „Aufreitverhalten“, „Aufreiten“, „Kampf“ und „Beißen“ der Eber- und Impfgruppe zur zweiten Impfung (V2) und Nachkontrolle (NK)</i>	93
<i>Abbildung 12 Hautscore (0-4) an den Zeitpunkten V1, V2 und NK bei geimpften Tieren (IC) und Ebern (E)</i>	94
<i>Abbildung 13 Androstenon- und Skatolkonzentrationen zum Zeitpunkt der Schlachtung S1(Δ) und S2 (O) bei der Ebergruppe (oben) und bei der geimpften Gruppe (unten) mit den Grenzl原因ien für Androstenon (1000ng/g) und Skatol (200ng/g)</i>	96

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 Gruppenübersicht mit Behandlungszeiten und Gewichten (Mittelwerte \pm Standardabweichungen), sowie Schlachtzeitpunkten, n=Anzahl der Tiere, LW=Lebenswoche, V1=1. Impfung, V2=2. Impfung).....</i>	<i>41</i>
<i>Tabelle 2 Ethogramm nach ISERNHAGEN (2015) modifiziert nach</i>	<i>44</i>
<i>Tabelle 3 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der Testosteronkonzentrationen und GnRH-Bindungen zu den Zeitpunkten V2 (zweite Impfung) und S (Schlachtung) zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 4 Mittelwerte \pm Standardabweichungen von Parametern der Wachstumsleistung und Fettqualität der verschiedenen Versuchsgruppen (dTZN-g/Tag; FVW-kg/kg; IMF-%; SFA-%; MUFA-%; PUFA-%, IV-g Jod/100g Fett)</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 5 Einfluss der Versuchsgruppe (VG), des Schlachtdurchganges (S), sowie der Versuchsgruppe x Schlachtdurchgang, auf die Wachstums- und Fettparameter</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 6 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der Schlachtparameter der Versuchsgruppen C, E, IC12, IC16 und IC18.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabelle 7 Einfluss der Versuchsgruppe (VG), des Schlachtdurchganges (S), sowie der Versuchsgruppe x Schlachtdurchgang, auf die Schlachtparameter</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 8 Mittelwert \pm Standardabweichung der Anzahl an Narben und Wunden/Tier, % der Tiere mit Penisverletzungen sowie % der Tiere mit Läsionen >1cm</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 9 Größenverteilung der Narben und Wunden innerhalb der Versuchsgruppen (%).....</i>	<i>74</i>
<i>Tabelle 10 Mittelwerte \pm Standardabweichungen der Hodengröße und der Größe der akzessorischen Geschlechtsorgane (Angaben in cm) innerhalb der Versuchsgruppen (L=Länge, B=Breite) zum Zeitpunkt der Schlachtung.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabelle 11 Regressionsberechnung: Einfluss der Testosteronkonzentration zum Zeitpunkt der Schlachtung auf die Größe des Hodens sowie der akzessorischen Geschlechtsorgane der Gruppen IC12, IC16 und IC18.....</i>	<i>76</i>

X. DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Univ.-Prof. Dr. Mathias Ritzmann für die großartige Möglichkeit zur Promotion, die sehr gute Betreuung, aber auch für die lehrreiche und interessante Zeit an der Klinik für Schweine bedanken.

Frau Dr. Susanne Zöls danke ich von ganzem Herzen für die hervorragende Betreuung und Unterstützung, die ich während der gesamten Zeit an der Klinik für Schweine im Rahmen meiner Dissertationsarbeit erfuhr. Danke Susi, auf dich war immer Verlass!

Frau Prof. Dr. Ulrike Weiler und den Mitarbeitern der Universität Hohenheim danke ich für die Analyse der Blut- und Kotproben, wobei ich Frau Prof. Dr. Ulrike Weiler auch für die Mitarbeit und den wertvollen fachlichen Input meiner Publikation danken möchte.

Ein großer Dank geht auch an Herrn. Dr. Peter Lindner und an die Mitarbeiter des Lehr-, Versuchs- und Fachzentrums für Schweinehaltung Schwarzenau für die Bereitstellung der Versuchstiere und die exzellente Mitarbeit und Unterstützung bei meinem Versuch. Besonders hervorheben möchte ich dabei auch Frau Brand, die diesen reibungslosen Ablauf ermöglichte.

Ein großes Dankeschön geht auch an Frau Dr. Aneka Bauer und an die Mitarbeiter des Max-Rubner-Institutes für die schnelle Untersuchung der Fettsäurezusammensetzung, sowie Dr. Paul Elsinghorst und dessen Mitarbeiter des ELFI Analytik GbR- Labors für die Bestimmung der Androstenon- und Skatolkonzentrationen im Rahmen der Fettanalytik.

Auch dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten möchte ich ein großes Dankeschön für die Mitfinanzierung des Versuches aussprechen.

Ebenso möchte ich mich bei dem Landwirt des Praxisbetriebes (Herrn Matthias Stör) für die tatkräftige Unterstützung und die Teilnahme an dem Versuch bedanken.

Ein großer Dank gilt auch den vielen Rotationsstudenten, welche mich tatkräftig bei der Beprobung der Tiere, sowohl tagsüber als auch nachts, unterstützt haben und mir die Autofahrten amüsanter machten.

Allen Doktoranden möchte ich natürlich auch für die schöne Zeit in der Klinik danken. Ihr wart maßgeblich daran beteiligt, dass ich die Klinikzeit noch lange in guter Erinnerung behalten werde.

Danke auch an meine liebevolle Familie für all die Unterstützung während des gesamten Studiums und der Dissertation. Ihr habt es mir ermöglicht Tierarzt zu werden. Ein besonderer Dank geht auch an meinem Bruder, der sich die Zeit nahm diese Arbeit Korrektur zu lesen und an meine Freundin, die mich während der gesamten Dissertation unterstützte.