

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

Retrospektive Auswertung von Schlachtdaten immunologisch
kastrierter Eber im Vergleich zu chirurgisch kastrierten und
intakten Ebern sowie weiblichen Mastschweinen

von Sophie Catherine Asanger
aus München

München 2024

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

Lehrstuhl für Krankheiten des Schweines

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

Mitbetreuung durch: Priv.-Doz. 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: Univ.-Prof. Dr. Claudia Guldemann, Ph.D.

Tag der Promotion: 06. Juli 2024

Für meine Familie

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG.....	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	3
1.	Gesetzliche Grundlagen der Ferkelkastration.....	3
2.	Schlachttierkörperzusammensetzung	4
2.1.	Erfassung der Schlachttierkörperparameter.....	5
2.2.	AutoFOM III™	6
2.3.	Einflüsse auf die Schlachttierkörperzusammensetzung	7
3.	Chirurgische Kastration.....	10
3.1.	Kastration unter Allgemeinanästhesie	10
3.2.	Kastration unter Lokalanästhesie.....	14
4.	Ebermast	15
4.1.	Ebergeruch	17
4.2.	Sensorische und chemische Geruchsanalysen	20
5.	Immunisierung gegen körpereigenes GnRH	22
5.1.	Improvac® – ein GnRH-Vakzin.....	22
5.2.	Wirkmechanismus und Anwendung	23
5.3.	Auswirkung der immunologischen Kastration.....	24
6.	Ökonomie, Verbraucherakzeptanz und Kaufverhalten	26
III.	MATERIAL UND METHODEN	31
1.	Ziel der Untersuchung	31
2.	Daten	31
2.1.	Datenerfassung und -zuordnung	31
2.2.	Schlachttierkörperparameter.....	33
2.3.	Beanstandungen an den Schlachttierkörper.....	33
3.	Datenverarbeitung	33
3.1.	Formatierung	33
3.2.	Selektion individueller Daten und Betriebe	35
4.	Statistische Datenanalyse	37
IV.	ERGEBNISSE	41

1.	Schlachtzahlen	41
2.	Deskriptive Statistik der Schlachttierkörperparameter	42
3.	Entwicklung der Schlachttierkörperparameter über den Studienzeitraum	47
4.	Einflussfaktoren auf die Schlachttierkörperparameter	61
V.	DISKUSSION	63
1.	Schlachtzahlen	66
2.	Einflussfaktoren auf die Schlachttierkörperparameter	67
3.	Schlachttierkörperparameter	70
4.	Limitierungen	78
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	81
VII.	SUMMARY	85
VIII.	TABELLENVERZEICHNIS	89
IX.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	91
X.	LITERATURVERZEICHNIS	93
XI.	ANHANG	115
XII.	DANKSAGUNG	119

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abs.	Absatz
AutoFOM	Auto Fat-O-Meater
AVV LmH	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 (AVV Lebensmittelhygiene - AVV LmH)
BA	chirurgisch kastrierter Masteber
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
cm	Zentimeter
g	Gramm
DEAE-Dextran	Diethylaminoethyl-Dextran
EG	Europäische Gemeinschaft
EM	intakter Masteber
EMA	European Medicines Agency
EU	Europäische Union
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FerkBetSachkV	Ferkelbetäubungssachkundeverordnung
Fa.	Firma
FINGER	Feldstudie zur Impfung gegen Ebergeruch
FSH	follikelstimulierendes Hormon
GI	intaktes weibliches Mastschwein
GnRH	Gonadotropin-Releasing-Hormon
GnRF	Gonadotropin-Releasing-Factor
IC	immunologisch kastrierter Masteber
IGF-1	Insulin like growth factor 1
i. m.	intramuskulär
IQR	Interquartilsabstand
BAC	Gewicht des Teilstücks Bauch
kg	Kilogramm
KLT	Gewicht des Teilstücks Kotelett

LAC	Gewicht des Teilstücks Lachs
LH	luteinisierendes Hormon
M	Mittelwert
MD	Median
MFA(G)	Muskelfleischanteil des Gesamtkörpers
MFA(B)	Muskelfleischanteil des Bauches
MHz	Megahertz
mm	Millimeter
MRI	Max-Rubner-Institut, Kulmbach, Deutschland
MuT	Muskeltiefe
ng / ml	Nanogramm pro Milliliter
NN	reinerbig stressstabil
Nr.	Nummer
ppm	parts per million
RL	Richtlinie
RP	Rating Points
RP/kg	Rating Points pro Kilogramm Schlachttierkörpergewicht
SchwHKIV	Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung
SCI	Gewicht des Teilstücks Schinken mit Knochen
SCU	Gewicht des Teilstücks Schulter mit Knochen
SD	Standardabweichung
SiS	Gewicht des Teilstücks Schinken schier
SKG	Schlachttierkörpergewicht (warm)
SpM	Speckmaß
SuS	Gewicht des Teilstücks Schulter schier
TierSchG	Tierschutzgesetz
ZNS	Zentrales Nervensystem

I. EINLEITUNG

In der Europäischen Union (EU) wurden im Jahr 2022 134,4 Millionen Schweine gehalten und Schweine mit 22,1 Tausend Tonnen Schlachtgewicht erzeugt (BLE, 2023). Dabei zählte Deutschland (20,3 %) nach Spanien (22,9 %) mit einem Bestand von circa 21,4 Millionen Schweinen und circa 47,1 Millionen geschlachteten Schweinen im Jahr 2022 zu den größten Schweinefleischerzeugern der EU (BLE, 2023). Unkastrierte Eber können durch die Bildung von Androstenon und Skatol einen für die meisten Verbraucher als unangenehm empfundenen Ebergeruch in ihrem Schlachttierkörper aufweisen (Bonneau, 1998). Auch deshalb wird ein Großteil der männlichen Mastschweine aktuell noch chirurgisch kastriert. So steht die Kastration im Fokus der Schweinefleischproduktion in Europa und Deutschland. Folgt man den Umfragewerten nach de Briyne et al. (2016), lag in 18 von 24 befragten EU-Ländern, unter anderem auch in Deutschland, die Anzahl chirurgisch kastrierter männlicher Ferkel bei mindestens 80 %. Die EU erlaubt eine betäubungslose Kastration der Saugferkel bis zu einem Alter von sieben Tagen (RL 2008/120/EG, 2008). In Deutschland wurde der Eingriff ohne Betäubung und wirksamer Schmerzausschaltung ab dem 01. Januar 2021 verboten (FerkBetSachkV, 2020; TierSchG, 2022).

Um dem Anspruch der Verbraucher mit ihrem stetig wachsenden Bewusstsein für Tierwohl sowie Lebensmittelsicherheit und -qualität, aber auch der Marktwirtschaft gerecht zu werden, ist es unabdingbar, nach dem Verbot der betäubungslosen Ferkelkastration weitere Alternativen zur chirurgischen Ferkelkastration zu untersuchen. Die Ebermast und die immunologische Kastration mit der Gonadotropin-Releasing-Hormon (GnRH)-Vakzine Improvac® (Firma (Fa.) Zoetis Belgium SA, Louvain-la-Neuve, Belgien) stellen in Europa, Brasilien, Australien und Neuseeland bereits gängige Alternativen dar, während der Einsatz der Immunokastration in Deutschland noch gering ist (EFSA, 2004; Brunius et al., 2011; de Briyne et al., 2016; Backus et al., 2018).

Um die praktischen Erfahrungen bei der immunologischen Kastration auszuweiten sowie Erzeuger und Abnehmer für eine Alternative zur chirurgischen Ferkelkastration zu gewinnen, rief ein Verbund von Landwirtschaftsorganisationen, nordwestdeutscher Schweinehalter und der Fa. Zoetis das Projekt „100.000 Improvac®-Tiere“ ins Leben (Breustedt-Muschalla, 2021; Niemann, 2021; Krieter et al., 2023). 100.000 männliche Mastschweine sollten mit der GnRH-Vakzine Improvac® immunologisch kastriert werden und deren Schlachttierkörper sowie die Ökonomie und Erfahrungen der Landwirte mit der Immunokastration ausgewertet werden (Breustedt-Muschalla, 2021; Niemann, 2021; Krieter et al., 2023). Der im Rahmen dieser Dissertation kooperierende westfälische Schlachthof Heinz Tummel GmbH & Co. KG (Schöppingen, Deutschland) förderte bereits die Schlachtung und Vermarktung immunologisch kastrierter Eber, nahm ab 2020 im Rahmen des Projekts „100.000 Improvac®-Tiere“ etwa 60 % der geimpften Tiere auf und bezahlte diese äquivalent zu den chirurgischen Kastraten und weiblichen Mastschweinen (Niemann, 2021; Schnippe, 2021). Diese Initiative wurde zusätzlich durch das vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderte Projekt „Feldstudie zur Impfung gegen Ebergeruch (FINGER)“ durch die Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, der Universität Göttingen und dem Max-Rubner-Institut Kulmbach (MRI) wissenschaftlich begleitet und mit der „Kieler Erklärung“ 2023 abgeschlossen (BLE, 2020; Krieter et al., 2023).

Ziel dieser Arbeit ist es, immunologische Kastraten, chirurgische Kastraten, intakte Eber und weibliche Mastschweine hinsichtlich ihrer Schlachttierkörperparameter zu vergleichen sowie deren Entwicklung über den Studienzeitraum von 2018 bis 2022 zu analysieren. In einem weiteren Schritt wurden verschiedene Einflussfaktoren auf den Schlachttierkörper bewertet. Dafür wurden Schlachttierkörperparameter von über 1,6 Millionen Tieren ausgewertet, die am Schlachthof routinemäßig per AutoFOM III™ erfasst werden.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Gesetzliche Grundlagen der Ferkelkastration

Die Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen sind für die Mitgliedsstaaten der EU in der Richtlinie 2008/120/EG geregelt. Diese Richtlinie erlaubt die betäubungslose Kastration von Saugferkeln bis zum siebten Lebenstag durch kompetentes Personal (RL 2008/120/EG). Bis zum 31. Dezember 2020 war die betäubungslose Ferkelkastration unter acht Tage alter, normalanatomischer männlicher Saugferkel auch in Deutschland gängige Praxis (de Briyne et al., 2016; Backus et al., 2018; TierSchG, 2022). Mit der Änderung des Tierschutzgesetzes 2013 und durch den Wegfall von §5 Abs. 3 Nr. 1a TierSchG begann eine sechsjährige Übergangsfrist bis zum Verbot der betäubungslosen Ferkelkastration (TierSchG, 2022). Nachdem der Deutsche Bundestag 2018 die Übergangsfrist um weitere zwei Jahre verlängert hatte, weil die verfügbaren Alternativen noch nicht praxisreif waren, wurde die betäubungslose Ferkelkastration in Deutschland ab dem 01. Januar 2021 endgültig verboten (Deutscher Bundestag, 2018; TierSchG, 2022). Zwar fällt die Kastration nach §6 TierSchG unter das Amputationsverbot von Körperteilen, dennoch gilt für unter acht Tage alte, männliche Saugferkel nach §6 Abs. 1 Satz 2 Nr. 2a TierSchG eine Ausnahme vom Amputationsverbot (TierSchG, 2022). Nach dem Erlass der Ferkelbetäubungssachkundeverordnung (FerkBetSachkV) am 08. Januar 2020 war es neben Tierärztinnen und Tierärzten nun auch anderen sachkundigen Personen erlaubt, eine Kastration von unter acht Tage alten, normalanatomischen, männlichen Saugferkeln unter Inhalationsnarkose mit Isofluran durchzuführen. Diese Personen werden durch Erwerb eines Sachkundenachweises im Rahmen eines theoretischen Lehrgangs mit anschließender Praxisphase, abschließender Prüfung und Erfüllung weiterer Vorgaben nach §6 FerkBetSachkV (2020) zur Durchführung des Eingriffs befähigt. Die Narkosegeräte müssen vom Hersteller für die Anwendung bestimmt sein, sich in einem einwandfreien hygienischen Zustand befinden und ordnungsgemäß gewartet werden (FerkBetSachkV, 2020). Außerdem

müssen die Anzahl der Anwendungen sowie das jeweilige Datum manipulationssicher aufgezeichnet werden und für Behörden auslesbar sein (FerkBetSachkV, 2020). Im Rahmen des Eingriffs aufgetretene Komplikationen müssen vom Anwender aufgezeichnet und drei Jahre lang aufbewahrt werden (FerkBetSachkV, 2020). Bei Tieren, die älter als sieben Tage sind oder einen abweichenden Befund von der Normalanatomie aufweisen, darf eine Kastration nur durch eine Tierärztin oder einen Tierarzt unter Betäubung und Analgesie durchgeführt werden (TierSchG, 2022).

2. Schlachttierkörperzusammensetzung

Die Bezahlung des Schlachttierkörpers beruht auf dessen Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Abrechnungsmaske des Schlachthofes (Abbildung 1), der Klassifizierung nach der Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung (SchwHKIV) und des tagesaktuellen Fleischpreises (SchwHKIV, 2020; VEZG, 2024). Die Schlachttierkörperzusammensetzung wird am Schlachthof Heinz Tummel GmbH & Co. KG (Schöppingen, Deutschland) mit Hilfe des vollautomatisierten ultraschallgestützten Klassifizierungsgeräts AutoFOM III™ mit der aktuellen Schätzformel erfasst (Höreth, 2013b; Frontmatec, 2020). Die Schätzformel wurde zuletzt 2011 durch das MRI im Rahmen eines umfangreichen grobgeweblichen und digitalen Zerlegeversuchs (mittels Röntgen-Computertomographen) unter Einbeziehung verschiedener Mastschweingenetiken, Schlachttierkörpergewichten und Geschlechtern evaluiert (Branscheid et al., 2011; Frontmatec, 2020). Der Evaluierung der Schätzformeln lagen unter anderem die DLG-Zerlegemethode nach Scheper und Scholz (1985) und die EU-Referenzmethode nach Walstra und Merkus (1996) zu Grunde (Branscheid et al., 2011; Judas et al., 2012; Judas und Höreth, 2015). Zu den AutoFOM III™ erfassten Schlachttierkörperparametern zählen: das warme Schlachttierkörpergewicht in Kilogramm (kg) (Fleischgesetz-Durchführungsverordnung, 2022), der Muskelfleischanteil des Gesamtkörpers und des Bauches jeweils in Prozent (%), die Muskeltiefe und das Speckmaß in Millimeter (mm) sowie die Teilstücke

Bauch, Schinken, Kotelett und Schulter in kg. Schinken, Kotelett und Schulter werden jeweils mit Knochen- und Fettbestandteilen und im schieren Zustand (entbeint und abgespeckt) geschätzt (Frontmatec, 2020).

Der Muskelfleischanteil des Schlachttierkörpers stellt das Gewicht des quergestreiften, roten Muskelgewebes ohne Bindegewebe und Sehnen im Verhältnis zum Gewicht des Schlachttierkörpers in Prozent dar (Verordnung (EG) Nr. 1249/2008, 2008; Frontmatec, 2020). Das Speckmaß beschreibt die Tiefe der subkutanen Fettgewebsschicht in mm über der Lende zwischen der zweit- und drittletzten Rippe sieben Zentimeter (cm) von der Spaltlinie der Schlachttierkörperhälfte entfernt (Frontmatec, 2020). Die Muskeltiefe wird als Tiefe der Muskelschicht in mm an derselben Stelle wie das Speckmaß gemessen (Frontmatec, 2020). Das Teilstückgewicht des Bauches wird ohne dessen ventralen Abschnitt erfasst (Frontmatec, 2020) und der zugehörige Muskelfleischanteil des Bauches durch das Muskelfleisch des Bauches (feine Abtrennung von subkutanem Fett, intramuskulärem Fett und Knochen) berechnet (Frontmatec, 2020). Der Schinken wird von Eis- und Spitzbein sowie mit einem geraden Schnitt im rechten Winkel zur Längsachse des Schlachttierkörpers zwischen dem fünften und sechsten Lendenwirbel abgetrennt (Frontmatec, 2020). Das Kotelett wird längs der Brust- und Lendenwirbelsäule vom Bauch getrennt und im Anschluss die Wirbelsäule entfernt (Frontmatec, 2020). Der Lachs stellt das entbeinte und abgespeckte Kotelett dar (Frontmatec, 2020). Von der Schulter werden Eis- und Spitzbein entfernt sowie Rücken und Bauch mittels eines rechtwinkligen Schnitts zur Wirbelsäule abgetrennt (Frontmatec, 2020).

2.1. Erfassung der Schlachttierkörperparameter

Die Erfassung der Schlachttierkörperparameter und Zulassung der Geräte zur Abrechnung und Weitervermarktung sind im Durchführungsbeschluss 2011/258/EU geregelt. In Deutschland sind die Verfahren „Ultrasonic Scanner GE Logiq 200pro“, „Zwei-Punkt-Messverfahren“, „AutoFOM I“, „AutoFOM III™“ und „CBS Image Meater“ zugelassen (Durchführungsbeschluss 2011/258/EU, 2011). Dabei ist eine ständige Überprüfung und regelmäßige, adäquate Anpassung der

Schätzformeln und Geräte nötig, um auch den Zuchtfortschritt und den Wandel der Marktanforderungen zu berücksichtigen (Branscheid et al., 2011).

2.2. AutoFOM III™

AutoFOM III™ ist ein vollautomatisches Klassifizierungsgerät des Herstellers Frontmatec (Kloding, Dänemark) zur Erfassung und Schätzung des Schlachttierkörpers und seiner Parameter (Brøndum et al., 1998; Branscheid et al., 2011; Frontmatec, 2020). Seit 2011 ist es in Deutschland zur Klassifizierung zugelassen (Durchführungsbeschluss 2011/258/EU, 2011). Die Messungen werden von 16 verbauten 2 Megahertz (MHz) Ultraschallsonden durchgeführt (Durchführungsbeschluss 2011/258/EU, 2011; Höreth und Adam, 2014). Das Messprinzip ist vergleichbar mit dem von AutoFOM I, jedoch unterscheidet eine weiterentwickelte Software mit einer neuen, angepassten Schätzformel beide Geräte voneinander (Branscheid et al., 2011; Höreth und Adam, 2014). Die mittels Ultraschall erfassten Daten der Rückenspeckdicke, Muskeltiefe und dazugehöriger Parameter werden auf Grundlage einer gesetzlich geprüften Schätzformel errechnet (Durchführungsbeschluss 2011/258/EU, 2011; Höreth und Adam, 2014). Auch die Teilstückgewichte werden mit einer Formel aus generierten Basiswerten der AutoFOM III™ Messdaten in Verbindung mit dem Schlachttierkörpergewicht geschätzt (Branscheid et al., 2011; Höreth und Adam, 2014). Die Schätzformel umfasst Schlachttierkörpergewichte zwischen 50 und 120 kg (Durchführungsbeschluss 2011/258/EU, 2011). Die Schätzgenauigkeit des Nachfolgermodells AutoFOM III™ ist präziser als die des Vorgängermodells (Branscheid et al., 2011). In einem Praxisvergleich von Höreth (2013a) zwischen AutoFOM I und AutoFOM III™ wurde gezeigt, dass im Mittel der Muskelfleischanteil des Schlachttierkörpers bei AutoFOM III™ um 0,4 % höher bewertet wird und in Untergruppen fleischreiche Körper besser als fettreiche bewertet werden. Des Weiteren wurden im Mittel alle Teilstückgewichte bis auf das des Bauches durch AutoFOM III™ höher geschätzt (Höreth, 2013a). Das Einhalten der Eichung des Geräts erfordert eine engmaschige Prüfung und Erfassung durch einen Klassifizierer (Höreth, 2013b). Bei

Abweichungen muss das Gerät außer Betrieb gesetzt werden (Höreth, 2013b). Die erhöhte Schätzung des Muskelfleischanteils mit AutoFOM III™ wurde in den Schlachthöfen mit einer Erhöhung des optimalen Muskelfleischanteils in der Abrechnungsmaske ausgeglichen (Imhäuser und Quaing, 2016). Entsprechend der Ergebnisse des Muskelfleischanteils werden die Schlachttierkörper auch in das Handelsklassenschema eingeordnet (SchwHKIV, 2020).

2.3. Einflüsse auf die Schlachttierkörperzusammensetzung

Einen maßgeblichen Einfluss auf die Schlachttierkörperzusammensetzung hat das Geschlecht der Tiere und zudem der zootechnische Eingriff der Kastration (Batorek et al., 2012; Poulsen Nautrup et al., 2018; Kress et al., 2020). Intakte Eber besitzen, gefolgt von weiblichen Mastschweinen, im Vergleich zu immunologischen und chirurgischen Kastraten den höchsten Muskelfleischanteil, wobei chirurgische Kastraten den niedrigsten Muskelfleischanteil verzeichnen (Zamaratskaia et al., 2008a; Andersson et al., 2012; Kress et al., 2020). Chirurgische Kastraten weisen das größte Speckmaß auf (Andersson et al., 2012; Bauer und Judas, 2014; Kress et al., 2020). Dabei setzt sich der Fettanteil des Gesamtkörpers im Wesentlichen aus dem subkutanen, intermuskulären sowie intramuskulären und perirenal- retroperitonealen Fett zusammen (Babol und Squires, 1995). Der höhere Muskelfleischanteil der intakten Eber und weiblichen Mastschweine wird durch die anabolen steroidalen Sexualhormone Testosteron und Östrogen beeinflusst, welche Einfluss auf die Futteraufnahme und Futterverwertung sowie Proteinbiosynthese und -abbau nehmen und den Proteineinbau fördern (Claus et al., 1994). Bei immunologischen Kastraten ist die Bildung dieser Steroidhormone bis unmittelbar nach der zweiten Vakzination vorhanden, bei chirurgischen Kastraten wird die Bildung durch die Entfernung der Gonaden verhindert (Kress et al., 2019; Morgan et al., 2019; Zöls et al., 2020). Intakte Eber weisen ein geringeres Schlachttierkörpergewicht und eine niedrigere Ausschachtung auf, da diese Tiere oftmals zur Verhinderung des Ebergeruchs früher geschlachtet werden, spezielle Ebermasken ein niedrigeres Gewicht fordern und die Organe, respektive Reproduktionsorgane, größer

ausgeprägt sind als beispielsweise die der Kastraten (Baumgartner et al., 2004; de Briyne et al., 2016; Niemann, 2017). Intakte Eber weisen in Bezug auf die Teilstücke verglichen mit den anderen Geschlechtergruppen eine Verschiebung der Körperproportionen in die vordere Körperhälfte auf (Dobrowolski et al., 1993; Bauer und Judas, 2014). Durch das allometrische Wachstum, bei welchem nacheinander das Wachstum von Knochen, Muskeln und Fett beendet wird, nimmt mit zunehmendem Schlachtagter und damit höherem Schlachtgewicht der Muskelfleischanteil des Schlachttierkörpers und der prozentuale Anteil der Teilstücke durch den zunehmenden Fettansatz ab (Fortin et al., 1987; Latorre et al., 2004; Fischer et al., 2006; Poulsen Nautrup et al., 2018). Der *Musculus longissimus dorsi* vergrößert sich mit steigendem Schlachtgewicht und das Fleisch-/Fettflächen-Verhältnis nimmt zu (Fischer et al., 2006). Teilstücke, die einen höheren Fettgewebsanteil besitzen, weisen einen erheblich stärkeren Zuwachs durch die Intensivierung des Fettansatzes auf (Fischer et al., 2006). Daher ist beispielsweise bei den Teilstücken Schwarte, Rückenspeck, Schinkenspeck, Wamme und Zuwamme ein Zuwachs von 60 % - 70 % festzustellen (Fischer et al., 2006). Teilstücke mit einem höheren Knochenanteil weisen einen niedrigen Zuwachs auf, während große, fleischreiche Teilstücke wie Schinken, Kotelett, Bug und Kamm einen Zuwachs von 40 % – 45 % verzeichnen und der Bauch aufgrund des höheren Fettgehalts im Vergleich um 51 % zunimmt (Fischer et al., 2006).

Eine rationierte Fütterung kann eine übermäßige Verfettung der Mastschweine, vor allem der Kastraten vermeiden (Fischer et al., 2006). Auch wird durch eine rationierte Fütterung die erhöhte Futteraufnahme und übermäßige durchschnittliche tägliche Gewichtszunahme im Vergleich zur ad libitum Fütterung eingebremst und ein geringeres Lebendgewicht erreicht (Pauly et al., 2009; Andersson et al., 2012; Grela et al., 2013). Mit steigendem Schlachtgewicht verringern sich ebenso die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen und die Futterverwertung verschlechtert sich (vor allem bei schweren, verfetteten Tieren) (Latorre et al., 2004; Fischer et al., 2006; Poulsen Nautrup et al.,

2018). Auch die Genetik der Mastschweine stellt einen Einflussfaktor dar (Glodek et al., 2004; Fischer et al., 2006; Kowalski et al., 2021). So besitzen Immunokastraten der finalen Mutterlinie Belgian Piétrain einen höheren Muskelfleischanteil als Canadian Durocs und bei Schweinen der reinerbig stressstabilen Genetik Piétrain-NN*Landrasse fiel die Verfettung bei schwereren Tieren noch moderat aus (Fischer et al., 2006; Kowalski et al., 2021). In Untersuchungen von Glodek et al. (2004) verzeichneten Nachkommen einer Piétrain-Vaterlinie einen längeren Schlachttierkörper und einen höheren prozentualen Anteil der Teilstückgewichte als Tiere einer Duroc-Vaterlinie. Dem hingegen besaßen Tiere mit einer Duroc-Genetik größere Anteile des Bauches und eine verbesserte Mastleistung (Glodek et al., 2004). Čobanović et al. (2020) beschrieben in ihren Untersuchungen saisonale Einflüsse auf die Gesundheit, Mastleistung und Schlachttierkörperparameter. Die Mastschweine wiesen im Winter signifikant höhere durchschnittliche Tageszunahmen, ein höheres Schlachttierkörpergewicht, ein größeres Speckmaß und Muskeltiefe sowie einen geringeren Muskelfleischanteil im Vergleich zu Frühjahr, Sommer (höchster Muskelfleischanteil, ansonsten niedrigste Werte) und Herbst auf (Čobanović et al., 2020). Diese Unterschiede könnten über die Optimierung von Haltungsbedingungen reguliert werden (Čobanović et al., 2020). Rehfeldt et al. (2008) berichteten auch von einem Einfluss des Geburtsgewichts auf spätere durchschnittliche Gewichtszunahmen und die Schlachttierkörperqualität. Schwerer geborene Ferkel waren demnach bis zur Schlachtung frohwüchsiger als leichter geborene, besaßen einen höheren Muskelfleischanteil und im Falle des Schinkens höhere Teilstückgewichte (Rehfeldt et al., 2008). Das Speckmaß hingegen unterschied sich zwischen den Geburtsgewichtgruppen nicht signifikant, jedoch zeigten leichter geborene Tiere eine vermehrte perirenale Verfettung und ein kleineres Herz (Rehfeldt et al., 2008). Da nach einer Untersuchung von Branscheid et al. (2011) erhebliche Unterschiede bei der Genauigkeit der Schätzformeln zwischen verschiedenen Klassifizierungsgeräten bestanden, stellt dies im letzten Schritt der Abrechnung einen weiteren Einflussfaktor dar.

3. Chirurgische Kastration

Bei der chirurgischen Kastration von Saugferkeln bis zum siebten Lebensstag werden die Tiere in einer speziellen Vorrichtung oder durch eine Hilfsperson fixiert und die Hoden nach Eintritt der wirksamen Betäubung und Analgesie entfernt (Plonait, 2004; FerkBetSachkV, 2020; TierSchG, 2022). Nach Kontrolle des ungestörten Allgemeinbefindens und der normalanatomischen Lage der Hoden sowie Reinigung und Desinfektion des Skrotums werden die Hoden mit einer Hand fixiert und nach kaudal gedrückt (Plonait, 2004; Heinritzi, 2006). Mit einem Skalpell werden die Hoden mit zwei möglichst kleinen Schnitten parallel zur *Raphe scroti* oder einem medianen Schnitt bis ins Hodengewebe freigelegt und entwickelt (Plonait, 2004; Prunier et al., 2006). Durch den eröffneten *Processus vaginalis* werden nun die Hoden aus der Hautwunde heraus verlagert und *Mesorchium* sowie Samenstrang mit einem Skalpell oder Emaskulator durchtrennt (Plonait, 2004). Abschließend wird die Wunde lokal antiseptisch versorgt und nicht verschlossen (Plonait, 2004). Dem Vorteil der geringeren Belastung des Ferkels durch eine kleine, schnell heilende Operationswunde im Saugferkelalter steht das erhöhte Risiko des Übersehens von Kryptorchiden und Bruchferkeln gegenüber, da der Darm in diesem Alter noch ein geringes Raumvolumen fordert (Plonait, 2004; Prunier et al., 2006).

3.1. Kastration unter Allgemeinanästhesie

Das Ziel der Allgemeinanästhesie ist es, eine reversible Ausschaltung der Empfindungs- und Sinneswahrnehmung durch einen Zustand der Bewusstlosigkeit, Bewegungslosigkeit und reduzierter Schmerzempfindung herbeizuführen (Erhardt et al., 2012; Ammer und Potschka, 2016). Die Narkosetiefe wird dabei meist über klinische Parameter wie Abwehrreaktionen und Reflexe, Atmung, Augenbewegung und Pupillenweite, Tränenfluss, Blutdruck und Herzfrequenz beurteilt (Erhardt et al., 2012; Ammer und Potschka, 2016). Schutzreflexe, die vorzugsweise mit einer chirurgischen Pinzette ausgelöst werden, eignen sich am besten, um eine Reaktion auf eine schmerzhaft Manipulation zu beurteilen (Boschert et al., 1996). Die schmerzhaft

Empfindungswahrnehmung verschwindet nach Boschert et al. (1996) zunächst am Schwanzansatz, gefolgt von der Afterklaue und dann an der Nasenscheidewand. Dabei stellt der Afterklauenreflex einen supramaximalen Stimulus dar (Eger et al., 1988). Bei der Inhalationsanästhesie kann man die Narkosetiefe anhand der Narkosestadien nach Guedel (1951) einteilen (Erhardt et al., 2012; Ammer und Potschka, 2016). Es lassen sich dabei das Analgesiostadium (Stadium I), Exzitationsstadium (Stadium II), Toleranzstadium (Stadium III) und das Asphyxiestadium (Stadium IV) unterscheiden (Erhardt et al., 2012; Ammer und Potschka, 2016). Das Toleranzstadium lässt sich je nach Literatur in drei oder vier weitere Stufen, dem Hypnosestadium, dem chirurgischen Toleranzstadium und dem Stadium der Depression, einteilen, wobei schmerzhaftes Eingriffe gezielt im chirurgischen Toleranzstadium durchgeführt werden sollen (Erhardt et al., 2012; Ammer und Potschka, 2016). Da bei pädiatrischen Tieren die Entwicklung der Vitalfunktionen (Herz-Kreislauf-, Atem-, Leber- und Nierenfunktion) und des Neurovegetativums erst etwa drei Monate nach Geburt abgeschlossen ist, ist bei Saugferkeln mit einem höheren Narkoserisiko zu rechnen (Erhardt et al., 2012).

Bei der Kastration unter Allgemeinanästhesie wird zwischen der Inhalations- und Injektionsnarkose unterschieden (Erhardt et al., 2012). Für die Durchführung der Inhalationsnarkose ist in Deutschland nur der halogenierte Kohlenwasserstoff Isofluran zugelassen (FerkBetSachkV, 2020; Vetidata, 2024). Mit Hilfe eines speziellen Verdampfers wird Isofluran in den gasförmigen Aggregatzustand überführt, über die Lunge aufgenommen und durch die hohe Lipidlöslichkeit und niedrige Blutlöslichkeit schnell im Gehirn angeflutet (Erhardt et al., 2012; Ammer und Potschka, 2016). Der Wirkstoff wird rasch über die Lunge (circa zehn Minuten nach Substitutionsende) eliminiert und bei einer Metabolisierungsrate von $< 0,2\%$ nahezu unverändert ausgeschieden (Ammer und Potschka, 2016). Er induziert eine gute Muskelrelaxation, zeigt aber nur eine schwache analgetische Wirkung, weshalb bei schmerzhaften Eingriffen stets zusätzlich ein Analgetikum angewendet werden sollte (Erhardt et al., 2012; Ammer und Potschka, 2016).

Atemdepression, Reduktion des peripheren Gefäßwiderstands und Blutdrucksenkung sowie Sensibilisierung des Herzens gegenüber Katecholaminen und beta-1-mimetischen Substanzen zählen zu den Nebenwirkungen (Ammer und Potschka, 2016). Des Weiteren kann der halogenierte Ether bei genetisch prädisponierten Tieren eine maligne Hypothermie auslösen (Ammer und Potschka, 2016). Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung ordnet Isofluran den Gefahrstoffen zu (IFA, 2022). Bereits subnarkotische Konzentrationen von 1150-4600 parts per million (ppm) können bei Menschen zu neurologischen Störungen (Beeinträchtigung des Erinnerungsvermögens bis zur Amnesie, verzögerte/fehlende Reaktion auf Kommandos, abgeschwächter/fehlender Lidreflex) führen (IFA, 2022). Zur Beurteilung der Kanzerogenität von Isofluran beim Menschen liegen noch wenige Untersuchungen vor (IFA, 2022). Isofluran erscheint auch als Treibhausgas bezüglich der Umweltverträglichkeit als bedenklich (Verhaagh und Deblitz, 2019). Die Durchführung der Inhalationsnarkose bei der Saugferkelkastration stellt sich durch die zusätzliche Narkoseeinleitung und Pflege des Geräts zeitaufwändiger dar und es fallen Kosten für die Anschaffung und Wartung des Geräts sowie für das Isofluran an (Verhaagh und Deblitz, 2019). Nach Studien von Härtel et al. (2021), Winner et al. (2022) und Hanus (2023) stellte die Inhalationsnarkose eine effiziente Methode mit geringen Narkosezwischenfällen, Ferkelverlusten und Wundheilungsstörungen dar. Schmerzäußerungen wie beispielsweise Abwehrbewegungen beliefen sich auf unter zehn Prozent der Tiere, wobei bei 3,5 % mehrere kurze oder eine lang anhaltende Abwehrbewegung oder Lautäußerungen auftraten (Härtel et al., 2021). Des Weiteren scheint das Körpergewicht der Tiere einen signifikanten Einfluss auf die Reaktionen des Ferkels bei der Kastration zu haben (Härtel et al., 2021). Dennoch ist die schmerzfreie Kastration unter Inhalationsnarkose auch vom Narkosegerät und dessen einwandfreier Funktion und Wartung abhängig (Winner et al., 2022; Hanus, 2023). In einer Studie von Hanus (2023) konnte mit Optimierungsmaßnahmen die Zahl ausreichend narkotisierter Ferkel erhöht werden. Auf Betrieben mit optimal funktionierenden und gewarteten Isoflurangeräten ist im Vergleich zur betäubungslosen

Kastration mit keinen höheren Saugferkelverlusten zu rechnen (Verhaagh und Deblitz, 2019).

Für die Injektionsnarkose beim Schwein steht in Deutschland aktuell nur die Kombination von Ketamin als Vertreter der Phencyclidine und Azaperon aus der Gruppe der Butyrophenone als zugelassene Tierarzneimittel zur Verfügung (Erhardt et al., 2012; Ammer und Potschka, 2016). Das Neuroleptikum Azaperon wird bei Schweinen als Sedativum zur psychischen Dämpfung und Herabsetzung der Spontanmotorik eingesetzt (Erhardt et al., 2012). Ketamin erzeugt durch eine Dämpfung des thalamokortikalen Systems sowie Anregung des retikulum-aktivierenden Systems eine dissoziative Anästhesie und weist eine potente Wirkung bei der Bekämpfung somatischer Schmerzen auf (Erhardt et al., 2012). Viszerale Schmerzen werden allerdings nicht durch das Anästhetikum abgedeckt, sodass bei Eingriffen, die mit viszeralen Schmerzen einhergehen, eine zusätzliche Analgesie unabdingbar ist (Erhardt et al., 2012). Bei Überdosierung induziert Ketamin dosisabhängig eine Katalepsie, Anästhesie und Krampfanfälle (Erhardt et al., 2012). Nach Lahrmann (2006) hinterlässt die intramuskuläre (i. m.) Applikation der Wirkstoffkombination keine sichtbaren Gewebeschäden. Negative Aspekte der Injektionsnarkose stellen die Gefahr einer Hypothermie, eine längere Nachschlafphase der Ferkel, die unter Umständen zu erhöhten Erdrückungsverlusten durch die Muttersau führt, sowie die signifikant erhöhten Schmerzäußerungen im Vergleich zu der Inhalationsnarkose dar (Lahrmann, 2006; Baldinger et al., 2017; Waldmann et al., 2018; Verhaagh und Deblitz, 2019). Der Zeitaufwand für die Kastration erscheint geringer als bei der Inhalationsnarkose, da eine größere Anzahl an Ferkeln gleichzeitig kastriert werden kann (Verhaagh und Deblitz, 2019). Für die Injektionsnarkose fallen anstatt des Geräteaufwands für die Inhalationsnarkose Kosten für den Tierarzt und höhere Medikamenten- sowie Verbrauchsmaterialausgaben an (Verhaagh und Deblitz, 2019).

3.2. Kastration unter Lokalanästhesie

Die Lokalanästhesie stellt eine Möglichkeit dar, die Kastration mit geringem apparativem Aufwand, ohne Bewusstseinsstrübung und ohne das Risiko der Allgemeinanästhesie durchzuführen (Richter, 2016; Waldmann et al., 2018). Dabei wird ein Lokalanästhetikum zur lokalen, reversiblen, nozizeptiven Schmerzausschaltung während der Operation intratestikulär, intrafunikulär und/oder subkutan in die Skrotalregion verabreicht (Waldmann et al., 2018). Neben den sensiblen Nervenfasern des *Nervus pudendus*, welche die Hodenhüllen und den *Musculus cremaster* innervieren, werden auch die Samenstränge und Hoden betäubt (Waldmann et al., 2018). Lokalanästhetika hemmen die Depolarisation an den Nervenbahnen und unterdrücken dadurch lokal die Weiterleitung von Aktionspotentialen (Richter, 2016). Es lassen sich Lokalanästhetika vom Ester-Typ (z. B. Procain) und vom Amid-Typ (z. B. Lidocain) unterscheiden, welche gleichzeitig die am meisten untersuchten und aktuell einzigen in Deutschland zugelassenen Lokalanästhetika darstellen, wobei einzig Procain für die Saugferkelkastration zugelassen ist (Richter, 2016; Waldmann et al., 2018). Lidocain besitzt eine doppelt so hohe Wirksamkeit wie Procain und zudem auch eine schnell einsetzende und länger andauernde Wirkung (Richter, 2016; Waldmann et al., 2018). Beide Lokalanästhetika zeigen eine geringe gewebeschädigende und systemtoxische Wirkung (Richter, 2016). Unerwünschte Nebenwirkungen gelten bei bestimmungsgemäßer Anwendung der Lokalanästhetika als selten, dennoch wird von Blutungsneigungen infolge der vasodilatatorischen Wirkung, Gewebereizungen und Allergien vor allem bei Lokalanästhetika vom Ester-Typ berichtet (Richter, 2016). Des Weiteren können bei hohen Konzentrationen der Lokalanästhetika im Blut die Erregungsbildung und -fortleitung am Herzen sowie an den Neuronen des zentralen Nervensystems (ZNS) gehemmt werden, da die Wirkstoffe auch die Blut-Hirn-Schranke passieren können (Richter, 2016). Bei Neonaten ist mit einer erhöhten Empfindlichkeit durch eine geringere Plasmaproteinbindung und Metabolisierungsrate zu rechnen (Richter, 2016). Durch die Anwendung verschiedener Stoffe, unterschiedlicher Applikationsweisen und mangelhafter Objektivierbarkeit der

Schmerzfreiheit sind die Ergebnisse bisheriger Studien zur Wirksamkeit bei der Ferkelkastration sehr heterogen und kaum vergleichbar (Waldmann et al., 2018). Mortalität, die Wundheilung und das Wachstum der Ferkel werden durch die Kastration unter Lokalanästhesie nicht beeinflusst (Kluiwers-Poodt et al., 2012; Abendschön et al., 2020). Auch wenn verschiedene Studien Hinweise auf eine unzureichende Schmerzausschaltung und Stress für das Tier im Rahmen der Kastration unter Lokalanästhesie geben, so wird diese dennoch in europäischen Ländern wie Dänemark, Norwegen und Schweden routinemäßig durchgeführt (Zankl et al., 2007; Leidig et al., 2009; Kluiwers-Poodt et al., 2012; de Briyne et al., 2016; Waldmann et al., 2018; Abendschön et al., 2020; Skade et al., 2021; Danish Agriculture & Food Council, 2023).

4. Ebermast

Bei der Ebermast wird gänzlich auf die Kastration männlicher Mastschweine verzichtet (EFSA, 2004). Dadurch bleibt der Hormonhaushalt und auch entsprechende physiologische Verhaltensweisen pubertärer Eber bestehen (EFSA, 2004). Wegen der Gefahr geruchsbelasteter Schlachttierkörper werden intakte Masteber beispielsweise in Irland oder Großbritannien bereits mit circa 70 kg Schlachttierkörpergewicht geschlachtet (Baumgartner et al., 2004; de Briyne et al., 2016). Die Konzentration von Androstenon und Skatol nimmt mit steigendem Schlachtgewicht und -alter zu, jedoch kann eine frühzeitige Schlachtung keine Garantie für eine Geruchlosigkeit geben (Pauly et al., 2009; Moore et al., 2017; Kress et al., 2019). Intakte Eber zeigen eine höhere Aktivität im Vergleich zu Sauen und Kastraten, wobei vermehrt agonistische, aggressive und sexuell motivierte Verhaltensweisen, wie beispielsweise Aufreiten im Mastverlauf auffallen (Fàbrega et al., 2010; Andersson et al., 2012; Bünger et al., 2014; Weiler et al., 2016; Zöls et al., 2020). Diese Beobachtungen gingen in Studien von Andersson et al. (2012), Weiler et al. (2016), Zöls et al. (2020) und Steybe et al. (2021) mit vermehrten Verletzungen wie Hautläsionen oder Penisverletzungen durch Penisbeißen einher. In einer Studie von Rydhmer et al. (2013) wurde bei der Mast intakter Eber, die seit der

Säugezeit in stabilen Gruppen gehalten wurden, weniger aggressive Verhaltensweisen beobachtet. Des Weiteren besteht bei einer gemischtgeschlechtlichen Aufstallung die Gefahr ungewollter Trächtigkeiten (Bünger et al., 2014).

Im Vergleich zu Kastraten zeigen Eber eine geringere Futteraufnahme und geringere tägliche Gewichtszunahmen, besitzen aber eine bessere Futterverwertung (Pauly et al., 2008; Poulsen Nautrup et al., 2018). Betrachtet man den Schlachttierkörper, so verschieben sich die Körperproportionen der intakten Eber in die vordere Körperhälfte (Dobrowolski et al., 1993; McPherson und Chenoweth, 2012; Bauer und Judas, 2014). So zeigen Eber im Vergleich zu weiblichen Mastschweinen und Kastraten aufgrund der Maskulinisierung eine stärker bemuskelte Nackenregion und auch stärker bemuskelte Schultern (Walstra, 1980; Bauer und Judas, 2014). Der Schlachttierkörper fällt auch durch einen hohen Muskelfleischanteil und niedrigen Fettanteil auf (Pauly et al., 2008; Batorek et al., 2012; Poulsen Nautrup et al., 2018; Kress et al., 2020). Die Teilstückgewichte, bis auf das des Bauches, sind in Summe bei weiblichen Mastschweinen am meisten ausgeprägt, gefolgt von intakten Ebern und den immunologischen und chirurgischen Kastraten, welche sich in verschiedenen Studien tendenziell nur geringgradig unterscheiden (Poulsen Nautrup et al., 2018; Kress et al., 2020). Die Ausschachtung der intakten Eber ist im Vergleich zu weiblichen Mastschweinen und Kastraten geringer, da der Reproduktionstrakt und auch Organe wie Herz, Leber und Niere höhere Gewichte aufweisen und die Anteile wie Knochen, Schwarten und Sehnen am stärksten ausgeprägt waren (Pauly et al., 2009; Batorek et al., 2012; Bauer und Judas, 2014; Kress et al., 2019). Auch das Fettsäuremuster der intakten Eber unterscheidet sich zu den anderen Geschlechtern (Barton-Gade, 1987; Grela et al., 2013; Zöls et al., 2020). Sie besitzen einen höheren Anteil an Wasser sowie ungesättigten Fettsäuren (Barton-Gade, 1987; Bonneau, 1998; Škrlep et al., 2020). Dies führt dazu, dass das Fett der Eber eine weichere Konsistenz besitzt und eine geringere Resistenz gegenüber der Fettoxidation aufweist (Barton-Gade, 1987; Bonneau, 1998; Škrlep et al., 2020). Diese Eigenschaften können die Weiterverarbeitung des

Schlachttierkörpers und die Produktqualität negativ beeinflussen, wenn auch mehrfach ungesättigte Fettsäuren zur gesunden Ernährung des Menschen beitragen (Bonneau, 1998; EFSA, 2004). Die Eignung zur Produktion von Dry-Cured Fleischprodukten aus Eberfleisch ist durch die dünne Fettschicht der Eber im Vergleich zu den chirurgischen Kastraten und Immunokastraten verschlechtert (Čandek-Potokar et al., 2020).

4.1. Ebergeruch

Der unangenehm fäkal- und urinartig riechende Ebergeruch wird durch Androstenon und Skatol sowie weiteren Indolen verursacht (Patterson, 1968; Walstra und Maarse, 1970). Das durch den Ebergeruch belastete Fleisch wird meist sowohl geruchlich als auch geschmacklich beeinträchtigt (Bonneau, 1998). Die Entstehung und Intensivität des Ebergeruchs im Fett beruht auf einer Balance zwischen Synthese und Abbau der Komponenten (Squires et al., 2020). Die Grenzwerte der Konzentrationen von Androstenon und Skatol beliefen sich in verschiedenen Studien auf geringgradig abweichende Werte (Bonneau, 1998; Walstra et al., 1999). Entsprechend sind kritische Grenzwerte für Androstenon zwischen 0,5 und 1 ppm und für Skatol zwischen 0,2 und 0,25 ppm definiert (Bonneau, 1998; Walstra et al., 1999). Androstenonwerte von unter 0,5 ppm werden vom Konsumenten als unauffällig bewertet, während Werte über 1 ppm als genussuntauglich gelten (Bonneau, 1998; Walstra et al., 1999).

Androstenon (5α -Androst-16-en-3-on) ist ein Steroid (Androgen) sowie ein Metabolit des Sexualhormons Testosteron und wird ab der Geschlechtsreife in den Leydig-Zellen des Hodens gebildet, ohne eine hormonelle Wirkung zu besitzen (Zamaratskaia und Squires, 2009; Squires et al., 2020). Als Pheromon dient Androstenon der Kommunikation zwischen Artgenossen und beeinflusst durch seine Anwesenheit auch die Fortpflanzungsfunktionen der weiblichen Tiere, wie beispielsweise einen früheren Pubertätseintritt und eine erhöhte Östrogensekretion, den Zyklusbeginn nach dem Absetzen der Ferkel und die Auslösung der Rausche (Weiler und Wesoly, 2012; Squires et al., 2020). Androstenon wird in mehreren Schritten aus Cholesterol und den Zwischenprodukten Pregnenolon und Progesteron gebildet (Weiler und

Wesoly, 2012). Die Regulation der Sexualhormonsynthese wird durch den Hypothalamus gesteuert, welcher bei Unterschreitung der physiologischen Hormonkonzentration im Blut GnRH ausschüttet und dadurch die Freisetzung des follikelstimulierenden Hormons (FSH), des luteinisierenden Hormons (LH) und die Synthese der steroidalen Sexualhormone im Hoden stimuliert (Weiler und Wesoly, 2012). Das in den Leydig-Zellen nicht-sulfokongjugierte Androstenon diffundiert aufgrund seiner Lipophilie nach dem Transport im Blut passiv in das Fettgewebe und reichert sich dort olfaktorisch aktiv an (Sinclair und Squires, 2005). Androstenon weist in den Speicheldrüsen und im Fettgefolgt vom Hodengewebe und im Blut - erhebliche Konzentrationsunterschiede auf (Sinclair und Squires, 2005; Weiler und Wesoly, 2012). Die Metabolisierung findet in einer oxidativen und kongjugativen Phase in Hoden und Leber statt (Sinclair und Squires, 2005). Dabei wird das metabolisierte Androstenon in mehreren Schritten zu einer hydrophilen Polarität umgewandelt, eine Diffusion ins Fettgewebe verhindert und über die Nieren ausgeschieden (Sinclair und Squires, 2005).

Skatol (3-Methyindol) hingegen ist ein durch bakteriellen Abbau von Tryptophan im Colon entstehendes Indol (Squires et al., 2020). Es gibt Hinweise darauf, dass neben Skatol auch weitere Indole und Aldehyde sowie kurzkettige Fettsäuren, Phenole und 4-Phenyl-3-buteon-2-on den Ebergeruch synergistisch beeinflussen und damit verstärken können (Zamaratskaia und Squires, 2009; Squires et al., 2020). Skatol und Indol werden nach der Resorption über die Darmwand und den Blutweg zur Verstoffwechselung in die Leber transportiert, dort ebenso in einer oxidativen und kongjugativen Phase über mehrere Schritte metabolisiert und schlussendlich mit dem Urin ausgeschieden (Sinclair und Squires, 2005; Zamaratskaia und Squires, 2009). Die Einlagerung des Skatols im Fett beruht auf dessen Lipophilie und unterliegt einer größeren Dynamik in Abhängigkeit von der Blutkonzentration als Androstenon (Claus et al., 1994). Es gibt Hinweise darauf, dass die Anwesenheit von Androstenon die Metabolisierung von Skatol in der Leber durch eine Expressionsblockade der dafür benötigten Enzyme hemmt (Claus et al.,

1994; Squires et al., 2020). Die Skatolkonzentrationen im Pfortaderblut, im peripheren Blut und im Kot weisen individuell ähnliche Werte auf, weswegen die Blutkonzentration die Produktion von Skatol im Darm widerspiegeln zu scheint (Claus et al., 1994).

Das Alter und das damit zusammenhängende Gewicht haben einen wesentlichen Einfluss auf die Ausprägung des Ebergeruchs, da die Androstenonkonzentrationen im Fett ab der Pubertät im Mastverlauf sukzessiv ansteigt (Claus, 1975; Pauly et al., 2009; Moore et al., 2017; Kress et al., 2019). Durch eine energiereiche ad libitum Fütterung wird bei den Mastebnern ein Gewichts- und Alterseffekt hervorgerufen, der gleichzeitig die Insulin-like growth factor 1 (IGF-1) Freisetzung und Steroidhormonsynthese stimuliert (Claus et al., 1994; Weiler und Wesoly, 2012). Der endogene Einfluss des Östrogens, der Glukokortikoide und IGF-1 führen zu erhöhten Skatolkonzentrationen durch eine niedrigere Passagegeschwindigkeit des Futterbreis während der Brunst, der katabolen Wirkung und Zellapoptose durch die Glukokortikoide und den IGF-1 induzierten Zell-Turnover (Claus et al., 1994). Um die Skatolkonzentration im Darm zu reduzieren, muss der erhöhte Tryptophanabbau durch Fütterungsstrategien verhindert werden (Weiler und Wesoly, 2012). Einen negativen Einfluss bewirken dabei Energiemangel und eine Verschiebung der Mikroorganismen (Weiler und Wesoly, 2012). Die genetische Selektion erscheint aufgrund der hohen Heritabilität von Androstenon und der unterschiedlichen Ausprägung bei verschiedenen Rassen als vielversprechend (Xue et al., 1997; Bonneau, 1998). Frieden et al. (2012) berichteten von einer Heritabilität von 0,5 - 0,7 für Androstenon und 0,3 - 0,5 für Skatol. Die Reduktion des Ebergeruchs durch die Erbllichkeit ist jedoch eingeschränkt, da Studien einen Antagonismus zwischen der Androstenonkonzentration und der paternalen sowie maternalen Fertilität aufzeigten (Bergsma et al., 2007; Gispert et al., 2010; Batorek et al., 2012; Frieden et al., 2012). Die niedrigere Heritabilität des Skatols ist mit der Abhängigkeit von verschiedenen Umweltfaktoren wie Fütterung, Haltung und Hygiene bei dessen Bildung und Verstoffwechselung verbunden (Frieden et al., 2012).

Die Fotoperiode stimuliert bei einer kürzeren Tageslichtlänge den Eintritt der Pubertät und somit die vermehrte Synthese von Androstenon und umgekehrt (Claus et al., 1994; Weiler und Wesoly, 2012; Frieden et al., 2014). Da Fäkalien als eine zusätzliche Skatolquelle dienen können und durch Stress Glukokortikoide ausgeschüttet werden, verringert eine hygienische Haltung und adäquate Belegdichte, welche eine übermäßige Verschmutzung und Stress der Tiere vermeidet, ebenso den Ebergeruch (Hansen et al., 1994; Preinerstorfer et al., 2010; Weiler und Wesoly, 2012). Kress et al. (2019) stellten keinen Einfluss der Haltung auf die Androstenonkonzentration fest. Lediglich die Kombination von Geschlecht und Haltungsform zeigte eine Auswirkung auf die Skatolkonzentration, welche bei Ebern unter umweltangereicherten Haltungsbedingungen, wie mehr Platz und Zugang zu einem Außenbereich, niedriger war (Kress et al., 2019). Holinger et al. (2015) fanden in ihrer Studie keinen Unterschied hinsichtlich des Ebergeruchs zwischen gemischtgeschlechtlicher und nicht-gemischtgeschlechtlicher Aufstallung unter umweltangereicherten Haltungsbedingungen. Frieden et al. (2014) berichteten von höheren Androstenon- und Skatolkonzentrationen in Einzelhaltung gemästeter Eber im Vergleich zur Gruppenhaltung. Ranghöhere Eber mit einem entsprechenden Dominanzverhalten besitzen im Vergleich zu rangniedrigeren Tieren eine höhere Androstenon- und Skatolkonzentration (Giersing et al., 2000; Prunier et al., 2013). Weitere Einflussfaktoren für erhöhte Androstenon- und Skatolkonzentrationen stellen lange Transportzeiten und beispielsweise lange Wartezeiten am Schlachthof dar (Wesoly et al., 2015).

4.2. Sensorische und chemische Geruchsanalysen

In der Durchführungsverordnung (EU) 2019/627 und im §10 Abs. 2 AVV LmH (2022) ist durch eine Kontrolle der in Bezug auf Ebergeruch gefährdeten Schlachttierkörper Sorge zu tragen, dass kein geruchlich oder geschmacklich verändertes Fleisch von Tieren unerkannt in die weitere Lebensmittelverarbeitung gelangt. Dabei ist entsprechend der Anlage 3a AVV LmH (2022) im Rahmen der amtlichen Schlachttier- und Fleischuntersuchung das Nackenfett einer Schlachttierkörperhälfte z. B.

mit einem Bunsenbrenner bis zum Schmelzpunkt zu erhitzen und auf Geruchsabweichungen zu untersuchen. Im Falle eines positiven Ergebnisses ist der Tierkörper zu separieren und die Fleischproben sind anhand Anlage 4 AVV LmH (2022) weiteren Untersuchungen zu unterziehen. Die nicht verunreinigte Fleischprobe darf frühestens 24 Stunden nach Schlachtung untersucht werden und die sensorische Beurteilung sollte durch zwei erfahrene Prüfer durchgeführt werden (AVV LmH, 2022). Die Einstufung des Fleisches erfolgt anschließend in die Stufen „negativ“, „mäßig abweichend“ und „hochgradig abweichend“ (AVV LmH, 2022). In Anlage 4 AVV LmH (2022) werden zur weiteren Kontrolle der Geruchsauffälligkeiten das Mikrowellen-Diathermie-Verfahren, die Kochprobe und die Ausschmelzprobe beschrieben. Zur ersten orientierenden Beurteilung können Fleischstücke vorzugsweise aus dem Kopfbereich mit Fett- und Speicheldrüsenanteilen gewürfelt (50 g, 1 cm Kantenlänge), in einem Folienbeutel durch eine Mikrowelle bis zur Dampfbildung erhitzt und anschließend einer Geruchsprüfung und ggf. Geschmacksprüfung unterzogen werden (AVV LmH, 2022). Bei der Kochprobe ist zwischen einem Kalt- oder Heißansatz zu unterscheiden (AVV LmH, 2022). Beim Kaltansatz wird das gewürfelte Muskelfleisch mit Bindegewebe (60 g, 2 cm Kantenlänge) in kaltem Trinkwasser bis zum Sieden erhitzt und der Dampf sowie der Ansatz olfaktorisch und gustatorisch im Warm- und Kaltzustand geprüft (AVV LmH, 2022). Im Rahmen des Heißansatzes wird ein Muskelfleischwürfel (10 cm Kantenlänge) aus dem Nackenbereich fünf Minuten in einem Liter siedendem Wasser gekocht und im Anschluss der Anschnitt der Probe auf Abweichungen überprüft (AVV LmH, 2022). Bei der Ausschmelzprobe werden 150 g reines Fettgewebe aus dem Rückenfett entnommen und davon je 20 g feingewürfelt (5 mm Kantenlänge), bis zum Austritt des flüssigen Fetts erhitzt und die austretenden Dämpfe auf Geruchsabweichungen geprüft (AVV LmH, 2022).

Neben den Verfahren der AVV LmH (2022) beschrieben Fischer et al. (2011) mit der Stabilisotopen-Verdünnungsanalyse ein Laborverfahren zur Androstenon- und Skatoldetektion. Die schnelle, einfache und wirtschaftliche Probenverarbeitung stellt auch den Goldstandard dar

(Fischer et al., 2011). Die chemische Geruchsanalytik des Ebergeruchs beruht dabei auf Stabilisotopen-markierte, in diesem Fall Deuterium-markierte, synthetisierte interne Standards des d3-Androstenons, d3-Skatols und d6-Indols (Fischer et al., 2011).

5. Immunisierung gegen körpereigenes GnRH

Die Immunisierung gegen körpereigenes GnRH führt durch eine vorübergehende Unterdrückung der natürlichen Hodenfunktion bei männlichen Schweinen zu einer Reduktion des durch Androstenon und Skatol gebildeten Ebergeruchs, zu einer Verminderung der aggressiven und sexuellen Verhaltensweisen und zu einer Veränderung des Schlachttierkörpers (EMA, 2009; Poulsen Nautrup et al., 2018; Kress et al., 2020). Bei weiblichen Tieren kann durch Verabreichung von Improvac® die Ovarialfunktion temporär unterdrückt und dadurch Sexualverhalten und unerwünschte Trächtigkeiten verhindert werden (EMA, 2009).

5.1. Improvac® – ein GnRH-Vakzin

Improvac® ist ein seit 11. Mai 2009 von der European Medicines Agency (EMA) zugelassenes immunologisches Arzneimittel des Zulassungsinhabers Zoetis Belgium SA (Louvain-la-Neuve, Belgien) mit einer Wartezeit von null Tagen (EMA, 2009; Zoetis, 2009). Auf dem Weltmarkt findet es beispielsweise in Australien, Brasilien und Neuseeland bereits länger Anwendung (EFSA, 2004; Brunius et al., 2011). Das synthetische GnRH-Peptidanalogen ist mit einem Trägerprotein, dem Diphtherietoxoid, konjugiert und im Wesentlichen so konzipiert, dass eine Bindung zur immunologischen Reaktion sowie eine Konjugation möglich ist, es aber keine hormonelle Wirkung besitzt (EMA, 2012). Da die Größe des Peptidanalogs zu klein und die Immunogenität zu gering ist, um eine Immunantwort auszulösen, wird das GnRH-Analogon als Hapten an Adjuvantien gebunden, um dessen Potenz zu entfalten (Oonk et al., 1998; Zoetis, 2009; Ayalew, 2019). Diethylaminoethyl-Dextran dient dabei als Adjuvans sowie Chlorocresol als Konservierungsmittel (Zoetis, 2009). Improvac® muss mit einem

Sicherheitsinjektor mit einer Dosis von zwei Millilitern subkutan am Ohrgrund des gesunden, nicht kastrierten männlichen Schweines injiziert werden (Zoetis, 2009). Entsprechend der Zulassung darf die erste Injektion ab der achten Lebenswoche erfolgen; die zweite Impfung wird im Abstand von mindestens vier Wochen zur Erstimpfung und mindestens vier bis sechs Wochen vor dem Schlachttermin verabreicht (EMA, 2009; Zoetis, 2009). Falls eine Schlachtung mehr als zehn Wochen nach der zweiten Injektion stattfindet, sollte die vorübergehende immunologische Kastration durch eine dritte Impfung vier bis sechs Wochen vor dem Schlachttermin aufgefrischt werden (EMA, 2009; Zoetis, 2009). Bei Verdacht auf eine Fehldosierung wird empfohlen, das Tier unverzüglich nachzuimpfen (EMA, 2009; Zoetis, 2009).

Als Nebenwirkung sind in sehr häufigen Fällen (> 1 von 10 Tieren) Schwellungen an der Injektionsstelle sowie eine impfinduzierte Hyperthermie in den ersten 24 Stunden nach der Impfung aufgeführt (EMA, 2009; Zoetis, 2009). Diese Nebenwirkungen wurden auch in Studien von Pauly et al. (2009) und McGlone et al. (2016) beschrieben. Sehr selten treten hingegen anaphylaktische Reaktionen auf, welche bis zu 30 Minuten andauern (Zoetis, 2009). Eine versehentliche Selbstinjektion des Anwenders kann zu einer vorübergehenden Störung des Sexualhormonspiegels, der Fortpflanzungsfunktion und der Schwangerschaft führen, wobei das Risiko der unerwünschten Wirkungen nach einer wiederholten Selbstinjektion von Improvac® wesentlich größer ist (Zoetis, 2009; EMA, 2012). Die orale Aufnahme stellt keine Gefährdung dar, da das Produkt im Magen-Darm-Trakt durch die Magensäure zerstört wird und keine immunogene Wirkung, weder im Verdauungstrakt noch im Gesamtorganismus, besitzt (Clarke et al., 2008; EMA, 2012).

5.2. Wirkmechanismus und Anwendung

Das Ziel der immunologischen Kastration ist das Auslösen einer humoralen Immunantwort gegen das endogene GnRH und somit einer reversiblen Blockade der Hypophysen-Hypothalamus-Gonadenachse (Dunshea et al., 2001; Ayalew, 2019). Das Hormon GnRH wird im Hypothalamus gebildet und stimuliert die Freisetzung der Gonadotropine

LH und FSH in der Hypophyse, welche wiederum nach Eintritt in die Blutbahn die Produktion von Sexualhormonen wie Testosteron, Androstenon und die Spermatogenese in den Leydig-Zellen der Hoden steuern (Squires et al., 2020). Im Zuge der Erstimpfung wird das Immunsystem erststimuliert und die Hodenfunktion bleibt noch vollständig erhalten (Squires et al., 2020). Die Zweitimpfung bewirkt eine starke immunologische Reaktion mit Bildung von Antikörpern der B-Lymphozyten, die an GnRH binden, Blockierung der Hypophysen-Hypothalamus-Gonadenachse und Inaktivierung der Hodenentwicklung und -funktion, sodass sich der Hormonstatus vergleichbar zu im Saugferkelalter chirurgisch kastrierten Tieren entwickelt (Zoetis, 2009; Ayalew, 2019; Squires et al., 2020).

Die Antikörpertiter gegen GnRH steigen drei bis fünf Tage nach der Zweitimpfung an, erreichen nach vier bis sieben Tagen die höchste Konzentration und fallen im Anschluss sukzessiv über einen längeren Zeitraum (bis zu 16 bis 22 Wochen) ab (Claus et al., 2007; Zamaratskaia et al., 2008b; Brunius et al., 2011; Kress et al., 2019; Zöls et al., 2020). Die LH-Konzentration sinkt vier bis acht Tage nach der zweiten Dosis bis nahe des Detektionslimits von 0,03 Nanogramm pro Milliliter (ng / ml), ebenso wie die Testosteronkonzentration nach fünf bis zehn Tagen und die Androstenonkonzentration innerhalb von vier bis acht Tagen (Claus et al., 2007; Kress et al., 2019; Morgan et al., 2019; Zöls et al., 2020). Der IGF-1 im Plasma fällt sechs bis zehn Tage nach der Zweitimpfung auf Basalwerte (Claus et al., 2007). Die Kortisolkonzentration der chirurgischen und immunologischen Kastraten nach der Zweitimpfung ist im Vergleich zu den intakten Ebern ebenso verringert (Kress et al., 2019).

5.3. Auswirkung der immunologischen Kastration

Immunologisch kastrierte Eber zeigen bis zur zweiten Impfung ein äquivalentes Wachstum und Futteraufnahmeverhalten zu intakten Ebern (Zamaratskaia et al., 2008a; Fàbrega et al., 2010; Kress et al., 2019). Die durchschnittlichen täglichen Zunahmen belaufen sich bis zur zweiten Impfung auf niedrigere Werte als bei den chirurgischen Kastraten (Fàbrega et al., 2010; Poulsen Nautrup et al., 2018; Kress et al., 2019). Dennoch weisen Immunokastraten eine bessere Futterverwertung als

chirurgische Kastraten auf (Poulsen Nautrup et al., 2018; Kress und Verhaagh, 2019). Nach der Zweitimpfung entwickeln sich die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen der Immunokastraten zu Höchstwerten bei einer gleichzeitig steigenden Futteraufnahme im Vergleich zu den anderen Geschlechtern und übertreffen diese in mehreren Studien über den gesamten Mastzeitraum hinweg (Zamaratskaia et al., 2008a; Pauly et al., 2009; Fàbrega et al., 2010; Grela et al., 2013; Poulsen Nautrup et al., 2018; Kress und Verhaagh, 2019; Kress et al., 2019). Die immunologische Kastration bewirkt durch die Blockade der anabolen steroidal Sexualhormone eine zunehmende Angleichung des Schlachttierkörpers an den der chirurgischen Kastraten (Claus et al., 2007). In einer Studie von Claus et al. (2007) verzeichneten Immunokastraten drei Wochen nach der Zweitimpfung eine Zunahme des Gesamtfettgehalts des Schlachttierkörpers um 2,3 % im Vergleich zum Status quo zwei Wochen vor der Zweitimpfung. Auch Andersson et al. (2012) berichteten von einem höheren Muskelfleischanteil der intakten Eber und regulär immunologisch kastrierten Tieren als bei den chirurgischen Kastraten und zu einem früheren Zeitpunkt immunisierten Mastschweinen.

Nach der Zweitimpfung ist eine Reduktion der Aktivität und Kontaktaufnahme zwischen den Immunokastraten sowie der Aggression und des Sexualverhaltens vom Niveau der intakten Eber auf das der chirurgischen Kastraten zu beobachten (Zamaratskaia et al., 2008b; Andersson et al., 2012). Andersson et al. (2012) berichteten von einer Reduktion der Hautverletzungen nach der Zweitimpfung, jedoch wurde kein Unterschied im Hinblick auf einen früheren oder den Standardimpfzeitpunkt festgestellt. Diese Wirkung tritt ein bis zwei Wochen post injectionem ein (Zoetis, 2009; EMA, 2012). Auch reduziert sich bei immunologisch kastrierten Tieren der Anteil der Tiere mit Penisläsionen, wobei sich auch eine frühere Vakzination positiv darauf auswirkt (Zöls et al., 2020). Durch die Immunokastration werden die Produktion und Metabolisierung der Androgene reduziert und die Leber besitzt eine höhere Kapazität für den Abbau des im Darm gebildeten Skatols (Pauly et al., 2009; Zoetis, 2009). Dadurch verringert sich nicht

nur die Androstenonkonzentration im Organismus, sondern auch die des Skatols und es ergibt sich dadurch eine Reduktion des als unangenehm empfundenen Ebergeruchs (Jaros et al., 2005; Zamaratskaia et al., 2008b; Pauly et al., 2009; Andersson et al., 2012; Moore et al., 2017; Kress et al., 2019). Die Wirksamkeit der Impfung zu Verringerung des Risikos des Auftretens von Ebergeruch und seiner Komponenten liegt in verschiedenen Studien zwischen 97 % und 100 % (Dunshea et al., 2001; de Roest et al., 2009; Kress und Verhaagh, 2019; Zöls et al., 2020). Die unterdrückten Funktionen der Leydig-Zellen nach der Zweitimpfung führen zu einer signifikanten Reduktion der Reproduktionsorgane wie beispielsweise zu einem geringeren Hoden- und Bulbourethraldrüsengewicht sowie einer geringeren Hoden- und Bulbourethraldrüsenlänge als bei intakten Ebern (Brunius et al., 2011; Einarsson et al., 2011; Kress et al., 2019). Des Weiteren werden durch die Immunisierung gegen körpereigenes GnRH Anzahl und Morphologie der Leydig-Zellen verändert, die Spermatogenese bis zum Verlust von Tubuli- und Sertolizellen gestört und die Spermienmorphologie beeinträchtigt (Einarsson et al., 2009).

6. Ökonomie, Verbraucherakzeptanz und Kaufverhalten

Verhaagh und Deblitz (2019) untersuchten im Rahmen von betriebswirtschaftlichen Berechnungen des Thünen-Instituts (Braunschweig, Deutschland) die ökonomischen Aspekte der chirurgischen Kastration mit Inhalations- und Injektionsnarkose, Lokalanästhesie sowie der immunologischen Kastration und Ebermast im Vergleich zur, bis Ende 2020 zugelassenen, betäubungslosen Saugferkelkastration. Neben vermehrten Material- und Gerätekosten hat auch der erhöhte Personal- und Zeitaufwand bei der Kastration unter Betäubung und Immunokastration einen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit (de Roest et al., 2009; Verhaagh und Deblitz, 2019). Da die Injektionsnarkose nur durch eine Tierärztin oder einen Tierarzt durchgeführt werden darf, steigen die Kosten für diese Anwendung (Anstieg bis zu 6 € / Ferkel), gefolgt von der vom Landwirt

durchgeführten Inhalationsnarkose (Anstieg bis zu 3,02 € / Ferkel) am stärksten an (Verhaagh und Deblitz, 2019). Durch Subventionen (z. B. für das Narkosegerät) können die Kosten für die Inhalationsnarkose weiter gesenkt werden, wobei zu beachten ist, dass sich die Anschaffungskosten für das Narkosegerät bei höheren Tierzahlen rentabler verhalten (de Roest et al., 2009; Verhaagh und Deblitz, 2019). De Roest et al. (2009) sprachen von geringeren Kosten für die Injektionsnarkose im Vergleich zur Inhalationsnarkose in Betrieben mit weniger als 200 Sauen, da für die Injektionsnarkose keine Geräte angeschafft werden müssen. Nach Verhaagh und Deblitz (2019) beliefen sich die Mehrkosten für die Lokalanästhesie auf 1,57 € / Ferkel, welche aber in Deutschland aufgrund von Bedenken bezüglich des Tierschutzes nicht zugelassen ist. Auch Studien von Zankl et al. (2007) und Abendschön et al. (2020) gaben Hinweise auf eine unzureichende Schmerzausschaltung und Stress für das Tier bei der Kastration unter Lokalanästhesie. Verhaagh und Deblitz (2019) beschrieben eine mittelfristig äquivalente Rentabilität der Immunokastration und der Ebermast zur betäubungslosen Kastration. Die Kosten der Impfung konnten durch eine bessere Futterverwertung und in Studien nach Dunshea et al. (2001), de Roest et al. (2009) und Verhaagh und Deblitz (2019) auch durch eine höhere Gewichtszunahme der Immunokastraten nach der Zweitimpfung kompensiert werden. Diese werden in den meisten Studien nach der gleichen Abrechnungsmaske wie chirurgische Kastraten bezahlt (de Roest et al., 2009; Kress und Verhaagh, 2019; Verhaagh und Deblitz, 2019). Trotz der zusätzlichen Entfernung der Hoden am Schlachthof stellten sich die Immunokastraten im Vergleich zur Ebermast profitabler dar (Kress und Verhaagh, 2019). Intakte Eber weisen eine bessere Futterverwertung auf, werden aber meist leichter geschlachtet und bei der getrennten Abrechnung preislich benachteiligt (de Roest et al., 2009; Kress und Verhaagh, 2019; Verhaagh und Deblitz, 2019). Im Vergleich der in Deutschland zugelassenen Verfahren zur Produktion vermarktungsfähiger männlicher Mastschweine schnitt im Hinblick auf die Erlösreduktion die Injektionsnarkose gefolgt von der Inhalationsnarkose am schlechtesten ab (Verhaagh und Deblitz, 2019). Die besten Erlöse erzielten die Immunokastration gefolgt von der Ebermast unter geeigneten Haltungs- und Managementbedingungen,

welche auch im Einklang mit dem Tierwohl stehen (Verhaagh und Deblitz, 2019).

In europaweiten Umfragen gaben die Probanden als wichtigste Eigenschaften für Schweinefleischprodukte Geschmack, Qualität, Tierwohl, Natürlichkeit und Lebensmittelsicherheit an (Aluwé et al., 2020; di Pasquale et al., 2020). Nur knapp die Hälfte der Befragten waren über die Produktion und Kastration männlicher Mastschweine aufgeklärt (Sattler und Schmoll, 2012; Aluwé et al., 2020). Mit größeren internationalen Unterschieden führte die Kastration unter Anästhesie (53 %) gefolgt von der Immunokastration (38 %) und der Ebermast (20 %) die Akzeptanz der Befragten an (van Beirendonck et al., 2013; Aluwé et al., 2020). In umgekehrter Reihenfolge wurde auch die Ablehnung angegeben (Aluwé et al., 2020). Di Pasquale et al. (2020) ordneten die höchste Akzeptanz der Immunokastration (33,6 %), gefolgt von der Kastration unter Anästhesie und der Ebermast (je > 20,0 %) zu. Die Umfrage ergab, dass die Immunokastration den Tierschutz und eine gute Qualität gewährleistet, aber Bedenken hinsichtlich der Lebensmittelsicherheit, Rückständen und Hormonen bestehen (Aluwé et al., 2020). Di Pasquale et al. (2020) berichteten von einer Korrelation der sinkenden Konsumfreudigkeit, wenn das Gesundheitsrisiko ansteigt. Verbraucher, die die Immunokastration bevorzugten, zeigten eine höhere Konsumbereitschaft dafür und geringere Bedenken bezüglich eines Gesundheitsrisikos bei diesem Verfahren (di Pasquale et al., 2020). Auch sind jüngere Konsumenten aus ländlicheren Gegenden mit geringerem Einkommen bereit, mehr für Produkte der Immunokastration zu zahlen (van Beirendonck et al., 2013; di Pasquale et al., 2020). Tuytens et al. (2012) befragten Schweinemäster bezüglich ihrer Einstellung zur Kastration und deren Alternativen. Die meisten Landwirtinnen und Landwirte bevorzugten die betäubungslose Kastration aufgrund der geringen Kosten, ruhigeren Verhaltensweisen in der Mast und der effizienten Verhinderung von Ebergeruch (Tuytens et al., 2012). Die Kastration unter Anästhesie wird von den meisten Landwirtinnen und Landwirten aufgrund der Mehrkosten und des Risikos der Rückstände von Medikamenten abgelehnt (Tuytens et al., 2012). Würden die

Mehrkosten vom Verbraucher getragen, würde sich die Einstellung der Landwirtinnen und Landwirte gegenüber der Kastration unter Anästhesie verbessern (Tuytens et al., 2012). Die Haltung der Landwirtinnen und Landwirte zur Immunokastration war weitgehend normal bis unsicher (Tuytens et al., 2012). Die hauptsächlich geäußerten Bedenken betrafen die zuverlässige Wirksamkeit gegen Ebergeruch sowie die Anwender- und Lebensmittelsicherheit (Tuytens et al., 2012). Obwohl über zwei Drittel der Landwirtinnen und Landwirte nicht bereit wären die Extrakosten für die Immunokastration zu tragen, so bevorzugten sie diese dennoch vor der Ebermast (Tuytens et al., 2012).

III. MATERIAL UND METHODEN

1. Ziel der Untersuchung

Ziel der Studie ist es, den Einfluss der immunologischen Kastration männlicher Mastschweine mit der GnRH-Vakzine Improvac® (Fa. Zoetis Belgium SA, Louvain-la-Neuve, Belgien) auf die Schlachttierkörperzusammensetzung zu untersuchen und mit chirurgischen Kastraten, intakten Ebern und weiblichen Mastschweinen in Vergleich zu setzen. Zu diesem Zweck wurden mit dem AutoFOM III™ Ultraschallklassifizierungssystem (Frontmatec Group, Kloding, Dänemark) im Schlachthof Heinz Tummel GmbH & Co. KG (Schöppingen, Deutschland) von 2018 bis 2022 Schlachttierkörperparameter erhoben und retrospektiv ausgewertet. Ebenso wurde der Einfluss von Geschlecht, Betrieb, Schlachtjahr und Schlachttierkörpergewicht auf die erhobenen Schlachttierkörperparameter dargestellt. Die Durchführung der Studie wurde von der Ethikkommission der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität in München unter der Nummer "AZ 325-02-09-2022" genehmigt.

2. Daten

2.1. Datenerfassung und -zuordnung

Zwischen 02.01.2018 und 24.11.2022 wurden im Schlachthof Heinz Tummel GmbH & Co. KG (Schöppingen, Deutschland) Schlachtdaten von insgesamt 1.736.684 Mastschweinen aus 203 kommerziellen Mastschweinehaltungsbetrieben, die in dieser Zeit mindestens einen immunologisch kastrierten Eber an den Schlachthof lieferten, mittels AutoFOM III™ erfasst. Im Zuge des Schlachtprozesses wurde jedem Tier eine laufende Schlacht- und Klassifizierungsnummer, der Herkunftsbetrieb, das ursprüngliche Geschlecht (männlich / weiblich), die Schlagstempelkennzeichnung und das Schlachtdatum zugeordnet. Zur weiteren Einteilung der männlichen Mastschweine in die Untergruppen „immunologischer Kastrat“, „chirurgischer Kastrat“ und „intakter Eber“

kennzeichneten die Landwirtinnen und Landwirte die Tiere vor der Schlachtung mit einem zusätzlichen Buchstaben am Ende der Schlagstempelkennzeichnung. Mit dem Stempel „Y“ oder „R“ erklärten die Landwirtinnen und Landwirte, dass sie den männlichen Schweinen die GnRH-Vakzine Improvac® entsprechend der Herstellerempfehlung verabreicht haben. Die Kodierung der Geschlechtergruppen ist in Tabelle 1 dargestellt. Eine Randomisierung der Gruppen war aufgrund der Tierzahlen und des Versuchsaufbaus nicht möglich. Die Herkunftsbetriebe wurden in dieser Studie anonym ausgewertet. Informationen zu Haltungsbedingungen, Fütterung, detaillierter Genetik, Alter und Impfdatum der Tiere waren für diese Datenanalyse nicht verfügbar.

Tabelle 1: Definition und Kodierung der analysierten Geschlechtergruppen

Geschlecht	Definition	Kodierung
Immunologischer Kastrat (IC = immunological castrate)	Männliches Mastschwein, welchem Improvac® entsprechend der Herstellerempfehlung verabreicht wurde	„männlich“ + Zusatz „R“ / „Y“
Weibliches Mastschwein (GI = gilt)	Intaktes weibliches Mastschwein	„weiblich“ ohne Zusatz „Z“
Chirurgischer Kastrat (BA = barrow)	Chirurgisch kastriertes männliches Mastschwein	„männlich“ ohne Zusatz „R“ / „Y“ / „Z“
Intakter Mastbeber (EM = entire male)	Intaktes männliches Mastschwein	„männlich“ + Zusatz „Z“

Alle vorliegenden Daten wurden von der Datenverarbeitungsfirma SLA - Software Logistik Artland GmbH (Quakenbrück, Deutschland) verarbeitet. Diese wandelte die Daten um und stellte sie in Form von fünf Microsoft® Excel Dateien (Microsoft Corporation, Redmond, USA) für die Jahre 2018, 2019, 2020, 2021 und 2022 mit jeweils 23 Spalten und 278.832 bis 418.090 Zeilen bereit.

2.2. Schlachttierkörperparameter

Im routinemäßigen Schlachtprozess wurde der Schlachttierkörper der Tiere mittels AutoFOM III™ erfasst und alle erhobenen Schlachttierkörperparameter den Tieren individuell zugeordnet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Mit AutoFOM III™ erfasste Schlachttierkörperparameter und Teilstücke sowie deren Einheit

Schlachttierkörperparameter		Einheit
<u>Schlachttierkörpercharakteristika</u>		
Muskelfleischanteil Gesamt	<i>MFA(G)</i>	%
Muskelfleischanteil Bauch	<i>MFA(B)</i>	%
Muskeltiefe	<i>MuT</i>	mm
Speckmaß	<i>SpM</i>	mm
Schlachttierkörpergewicht	<i>SKG</i>	kg
<u>Zusammensetzung der Teilstücke</u>		
Bauch	<i>BAC</i>	kg
Schinken	<i>SCI</i>	kg
Schinken schier	<i>SiS</i>	kg
Kotelett	<i>KLT</i>	kg
Lachs	<i>LAC</i>	kg
Schulter	<i>SCU</i>	kg
Schulter schier	<i>SuS</i>	kg

2.3. Beanstandungen an den Schlachttierkörper

Zudem wurde Tieren, die in der Schlachttier- und Fleischuntersuchung auffällig waren, Beanstandungen mittels Zahlencode zugeordnet. Die Beanstandungen „untauglicher Schlachttierkörper“, „Binneneber“, „Zwitter“ und „Eber aus Nicht-Masteberpartien“ führten zum Ausschluss der Individuen aus der Studie.

3. Datenverarbeitung

3.1. Formatierung

Nachdem die fünf Exceltabellen übermittelt wurden, erfolgte die weitere Datenaufbereitung und -formatierung mit Microsoft® Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA). So wurde im ersten Schritt das

ursprüngliche Geschlecht des Tieres (männlich oder weiblich) und das Ende der Schlagstempelkennzeichnung kombiniert und in die neudefinierte Geschlechtergruppe gemäß Tabelle 1 umkodiert. Die Schlachttierkörperbeanstandungen von auffälligen Schweinen im Schlachtprozess wurden aus einer weiteren Exceltabelle mit Hilfe des Zahlencodes übertragen, zugeordnet und lediglich zum Ausschluss der Tiere in der vorliegenden Studie verwendet.

Basierend auf der Abrechnungsmaske des Schlachthofes Heinz Tummel GmbH & Co. KG (Schöppingen, Deutschland) (Abbildung 1) ab dem 27.02.2020 wurden für jedes Tier zusätzlich zu den mittels AutoFOM III™ erfassten Schlachttierkörperparametern die Parameter „Rating Points (RP)“ und „Rating Points pro kg Schlachttierkörpergewicht (RP/kg)“ erstellt. Die beiden Parameter basieren auf der Abrechnungsmaske des Schlachthofes, deren Berechnung wie folgt lautet:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{RP} &= \mathbf{Bauch\ [kg] \times Punkte^* (Bauch\ [kg] \times Muskelfleischanteil\ Bauch\ [\%])} \\
 &+ \mathbf{Schinken\ schier\ [kg] \times Punkte^* (Schinken\ schier\ [kg])} \\
 &+ \mathbf{Lachs\ [kg] \times Punkte^* (Lachs\ [kg])} \\
 &+ \mathbf{Schulter\ schier\ [kg] \times Punkte^* (Schulter\ schier\ [kg])}
 \end{aligned}$$

$$\mathbf{RP/kg = RP / Schlachttierkörpergewicht\ [kg]}$$

**Punkte müssen entsprechend der Abrechnungsmaske ab 27.02.2020 in Abbildung 1 ergänzt werden*

Die Abrechnungsmaske des Schlachthofes (Abbildung 1) definiert für die Schlachttierkörperparameter SKG, SiS, LAC und BAC/MFA(B) jeweils einen Optimalbereich mit den höchsten Punkten pro kg Teilstückgewicht, bei welchem nach Erreichen die volle Punktzahl für das Teilstück pro kg Teilstückgewicht berechnet wird. In dieser Studie wurden die Optimalbereiche für die Abrechnungsmaske ab dem 27.02.2020 herangezogen. Der Prozentsatz der Tiere pro Geschlechtergruppe, der den Optimalbereich traf bzw. über- oder untertraf, wurde ermittelt.

**Abrechnungsmaske Tummel
ab dem 27.02.2020**

Schinken	<	16,00 kg	1,70 Pkt.
	16,00 kg	16,49 kg	1,80 Pkt.
	16,50 kg	16,99 kg	2,20 Pkt.
	17,00 kg	20,50 kg	2,30 Pkt.
	20,51 kg	21,00 kg	2,15 Pkt.
	>	21,00 kg	2,00 Pkt.
Lachs	<	6,00 kg	2,70 Pkt.
	6,00 kg	7,80 kg	3,20 Pkt.
	>	7,80 kg	3,15 Pkt.
Schulter	ohne Gewichtsgrenze		1,50 Pkt.
Bauch	<	12 kg	0,90 Pkt.
	<	48,00 %	0,90 Pkt.
	48,00 %	52,99 %	1,05 Pkt.
	53,00 %	61,99 %	1,10 Pkt.
	>=	62,00 %	1,05 Pkt.
	keine Begrenzung		
Schlachtgewicht	<	85,00 kg	- 1,0 Pkt.
	85,00 kg	89,99 kg	- 0,5 Pkt.
	>	107,00 kg	- 1,5 Pkt.
Systemgrenze	1,03 Pkt.	>= 90 kg	
Systemgrenze	1,00 Pkt.	>= 75 kg	< 90 kg
Preisabsicherung	0,70 Pkt.	>= 75 kg	< 95 kg
Preisabsicherung	0,80 Pkt.	>= 95 kg	

optimaler Bereich 90 -107 kg
**alte Abrechnungsmaske
bis zum 26.02.2020**

1,70 Pkt.
1,80 Pkt.
2,20 Pkt.
2,30 Pkt.
2,10 Pkt.
2,00 Pkt.

2,70 Pkt.
3,30 Pkt.
3,20 Pkt.

1,50 Pkt.

	0,90 Pkt.
< 49 %	0,90 pkt.
49 % - 53,99 %	1,00 Pkt.
54 % - 59,99 %	1,10 Pkt
> 60 %	1,00 Pkt.
max . 16 kg	

< 85 kg	-1,0 Pkt.
85 - 88 kg	-0,5 Pkt.
> 105 kg	-1,5 Pkt.
>= 90 kg	1,03 Pkt.
75 - 90 kg	1,00 Pkt.
>= 75	0,70 Pkt.

88 - 105 kg

Abbildung 1: Standardabrechnungsmaske des Schlachthofes Heinz Tummel GmbH & Co. KG, Schöppingen, Deutschland

3.2. Selektion individueller Daten und Betriebe

Nach der Datenaufbereitung und -sichtung wurde der Datensatz verblindet nach den in Tabelle 3 definierten Ausschlusskriterien auf Vollständigkeit, Plausibilität und Studieneignung geprüft. Entsprechend der Ausschlusskriterien wurden sowohl einzelne Tiere als auch ganze Betriebe ausgeschlossen.

Tabelle 3: Neunstufiges Ausschlussverfahren: Ausschlussgründe, Definitionen und Anzahl der ausgeschlossenen Individuen und Betriebe

Stufe	Ausschlussgrund	Definition	Ausschluss (n)	
			Tiere (Betriebe)	Betriebe (Tiere)
0	Ursprünglich 1.736.684 Tiere aus 203 Betrieben			
1	Fehlende Daten Ungültige Daten	Daten fehlen; Beanstandungen (untaugliche Schlachttierkörper, Binneneber, Zwitter, Eber aus Nicht-Mastberpartien); Gewichtsabweichung < 75 kg oder > 130 kg; Privatschlachtung	19.949 (200)	1 (336)
2	Zuchtsauen & Spanferkel	Gekennzeichnet als Zuchtsau & Spanferkel	17 (9)	
3	Vermehrerbetrieb	Gekennzeichneter Vermehrerbetrieb ohne vergleichbare Mastschweingenetik		3 (22.972)
4	Keine IC-Lieferung	Keine Lieferung von IC im Studienzeitraum		9 (22.216)
5	Andere Genetik	Gekennzeichneter Betrieb ohne vergleichbare Mastschweingenetik	19.349 (2)	
6	< 5 % IC an Gesamtliefermenge	Extrem geringe IC-Liefermenge		5 (33.400)
7	< 20 % männliche Tiere an Gesamtliefermenge	Unausgeglichenes Geschlechterverhältnis ≠ typischer Mastbetrieb		1 (2.874)
8	> 80 % männliche Tiere an Gesamtliefermenge	Unausgeglichenes Geschlechterverhältnis ≠ typischer Mastbetrieb		2 (2.235)
9	Keine Plausibilität	Nicht plausible Werte	12 (11)	

Vom ursprünglichen Datensatz mit 1.736.684 Schweinen aus 203 Betrieben wurden 21 Betriebe und insgesamt 123.024 Tiere ausgeschlossen. Somit verblieben 1.613.660 Mastschweine aus 182 Betrieben im Datensatz und wurden in den folgenden Auswertungen entsprechend der Fragestellung berücksichtigt.

4. Statistische Datenanalyse

Die Daten von 1.736.684 Mastschweinen aufgeteilt auf fünf Microsoft® Excel-Dateien (Microsoft Corporation, Redmond, USA) wurden zunächst mit Microsoft® Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) aufbereitet. Die statistische Einheit bildete das individuelle Tier. Jedem Tier waren neben einer individuellen Nummer des Herkunftsbetriebs, Geschlecht, Schlachtjahr, Schlachttierkörperparameter und Beanstandungen zugeordnet. Entsprechend der vor Beginn der Auswertung festgelegten Ausschlusskriterien (siehe Tabelle 3) wurden 123.024 Tiere ausgeschlossen. Die Aufbereitung der Daten erfolgte verblindet nach dem Geschlecht. Anschließend wurden die Daten mit der Statistiksoftware „R“ (Version 4.3.1 (2023-06-16)) ausgewertet. Eine Tierzahlberechnung war wegen des bereits vollständig vorliegenden Datensatzes nicht möglich. Die Tierzahl ergab sich aus der Gesamtheit der retrospektiv gesammelten Schlachtdaten abzüglich der entsprechend dem Ausschlussverfahren ausgeschlossenen Tiere. Aufgrund der großen Tierzahl wurde ein $p\text{-Wert} \leq 0,0004$ nach Good (1988) als signifikant beurteilt. Die durchschnittliche Anzahl der Tiere pro Betrieb sowie die Schlachttierkörpercharakteristika und die Teilstückzusammensetzung in den Kapiteln „IV.1. Schlachtzahlen“ und „IV.2. Deskriptive Statistik der Schlachttierkörperparameter“ wurden deskriptiv ausgewertet und durch den Mittelwert ($\pm$ Standardabweichung (SD)) sowie den Median ($\pm$ Interquartilsabstand (IQR)) beschrieben. Orientierend an der Abrechnungsmaske des Schlachthofes wurden die prozentualen Anteile der Tiere pro Geschlechtergruppe bestimmt, welche den Optimalbereich der Abrechnungsmaske der Parameter *SKG*, *SiS*, *LAC* und *BAC/MFA(B)* erreichten bzw. diesen über- oder untertrafen. Die Daten zur Entwicklung der Schlachttierkörperparameter sind mit dem Median als Box-Violin-

Plots dargestellt. Die Box-Violin-Plots erfassen außerdem noch die Verteilung der Daten, die Stichprobenmenge und bei Parametern der Abrechnungsmaske ab 21.02.2020 (Abbildung 1) die grau hinterlegten Optimalbereiche.

Die Signifikanz der Schlachttierkörperparameter zwischen den Geschlechtergruppen wurde anhand der Estimated Marginal Means „emmeans“ eines generalisierten linearen gemischten Modells mit dem Einflussfaktor „Geschlecht“ und dem Random-Effekt „Betrieb“ ermittelt. In Kapitel „IV.3. Entwicklung der Schlachttierkörperparameter über den Studienzeitraum“ wurden die Entwicklung der Schlachttierkörperparameter und die Differenzen zwischen den Geschlechtern, unterteilt in die fünf Jahre des Studienzeitraums, ermittelt. Hierfür wurde ein generalisiertes lineares gemischtes Modell mit den Interaktionen zwischen den Einflussfaktoren Geschlecht und Schlachtjahr angewandt. Dabei wurde der Betrieb als Random-Effekt berücksichtigt. Die Differenzen für jeden Parameter zwischen je zwei Geschlechtern sind in einem weiteren Diagramm dargestellt. In Kapitel „IV.4. Einflussfaktoren auf die Schlachttierkörperparameter“ wurde mittels der Random Forest Klassifikation die Prädiktorengröße der Schlachttierkörperparameter und somit ihre Bedeutung und Fähigkeit, Vorhersagen über die Geschlechtergruppen zu treffen, gemessen. Der Mean Decrease in Accuracy gibt die durchschnittliche Abnahme der Genauigkeit durch zufällige Permutation der Merkmalswerte in Out-Of-Bag-Stichproben an, wenn einer der analysierten Parameter aus der Stichprobenmenge entfernt wird. Auf Grundlage der Random Forest Klassifikation wurden vier Schlachttierkörperparameter mit dem größten Vorhersagewert für die Geschlechtergruppe für eine weitere Analyse zur Höhe von Einflussfaktoren auf ebendiese Parameter ausgewählt. Diese setzten sich zusammen aus *MFA(G)*, *MFA(B)*, *SpM*, *RP/kg*. Die Parameter *SiS*, *LAC* und *SKG* wurden aufgrund ihrer ökonomischen Bedeutsamkeit für die Untersuchung der Einflussfaktoren ausgewählt. Zur Ermittlung des Einflusses bzw. der Effektgröße der Einflussfaktoren Geschlecht, Betrieb, Schlachtjahr und Schlachttierkörpergewicht auf die ausgewählten Parameter, wurde ein klassisches lineares Modell verwendet und die

Einflussgrößen als Heat-Map dargestellt. Das Sum of Square der ANOVA-Tabelle stellte dabei die einzige Effektgröße dar.

IV. ERGEBNISSE

1. Schlachtzahlen

Von den 1.736.684 Schweinen aus 203 Betrieben wurden 21 Betriebe und 123.024 Individuen gemäß den vor der Auswertung festgelegten Ausschlusskriterien (Tabelle 3) ausgeschlossen. 1.613.600 geschlachtete Mastschweine (davon 45,5 % GI) aus 182 Betrieben erfüllten die Einschlusskriterien und wurden in die statistische Auswertung einbezogen. Die 822.689 männlichen Schweine gliederten sich in die Geschlechtergruppen IC (26,9 %), BA (22,7 %) und EM (1,4 %) auf. Die Anzahl und Entwicklung der Schlachtzahlen, aufgeschlüsselt nach Geschlecht und Jahr, sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Anzahl (n) geschlachteter Mastschweine sowie Gesamtzahl liefernder Betriebe und durchschnittlich gelieferte Tiere pro Betrieb (Mittelwert, Median) aufgeteilt nach Geschlecht und Jahr

Schlacht-jahr	Geschlecht (n)			
	IC	GI	BA	EM
2018	52	135.097	116.679	9.636
2019	1.966	148.614	121.620	8.277
2020	79.535	164.056	81.994	3.774
2021	179.349	181.055	26.359	479
2022	173.577	162.089	19.228	224
Summe (Betriebe)	434.479 (182)	790.911 (182)	365.880 (180)	22.390 (85)
Ø gelief. Tiere / Betrieb*	2.387 ± 2.050 ^{ab} (1.861 ± 2.722)	4.346 ± 3.78 ^{bc} (3.253 ± 5.010)	2.033 ± 2.197 ^{ac} (1.320 ± 2.877)	263 ± 719 (34 ± 115)

Parameter in einer Zeile mit mindestens einem identischen Buchstaben unterscheiden sich nicht-signifikant ($p > 0,0004$). Die p-values basieren auf dem emmean ± SE der Parameter. *dargestellt als: Mittelwert ± SD; (Median ± IQR)

2. Deskriptive Statistik der Schlachttierkörperparameter

Die Ergebnisse der Schlachttierkörpercharakteristika und die Zusammensetzung der Teilstücke sowie die errechneten *RP* und *RP/kg* sind in Tabelle 5 dargestellt. Median und Mittelwert der Schlachttierkörperparameter stimmen weitgehend überein und sprechen daher für eine Normalverteilung der Daten. Die prozentuale Verteilung der Tiere in den Intervallen der Abrechnungsmaske des Schlachthofes für *SKG*, *SiS*, *BAC/MFA(B)* und *LAC* ist in Tabelle 6 dargestellt.

Alle Schlachttierkörpercharakteristika wurden signifikant durch das Geschlecht beeinflusst ($p < 0,0001$). GI und EM wiesen gefolgt von IC und BA im Mittel den höchsten *MFA(G)* und *MFA(B)* auf. Während sich GI und IC um 1,03 % bzw. 1,18 %-Punkte unterschieden, war der Unterschied zwischen IC und BA mit 2,06 bzw. 2,84 %-Punkten größer. Im vom Schlachthof definierten optimalen Bereich des *BAC/MFA(B)* lagen 69,37 % der BA, gefolgt von IC (67,98 %) und GI (57,93 %). Unterhalb von diesem Bereich war der Anteil der BA-Gruppe mit 25,40 % deutlich höher als oberhalb (5,2 %). GI und EM zeigten eine umgekehrte Verteilung. Dagegen war der Anteil der IC unterhalb (14,29 %) und oberhalb (17,73 %) des *BAC/MFA(B)*-Optimalbereichs annähernd ausgeglichen.

Ebenso wiesen GI im Mittel mit 68,71 mm die größte *MuT* gefolgt von IC (66,63 mm) und BA (66,09 mm) auf. EM besaßen die geringsten Werte. Im Gegensatz zeigten beim *SpM* BA im Mittel mit 14,39 mm die höchsten, GI und BO die niedrigsten Werte. IC ordneten sich intermediär bei 12,98 mm ein. Zusammenfassend lagen die Ergebnisse der Schlachttierkörpercharakteristika der IC mit Ausnahme vom *SKG* im Mittel zwischen den GI und BA. Über alle Jahre hinweg wiesen IC die höchsten mittleren *SKG* auf. Allerdings wurde das *SKG* in allen Geschlechtergruppen vom Maskenwechsel am Schlachthof im Februar 2020 signifikant beeinflusst ($p < 0,0001$) (Abbildung 1). So stiegen die *SKG* im Mittel von 2018 auf 2020 in allen Geschlechtergruppen signifikant an (Tabelle 7). 83,46 % der IC sowie 85,47 % der GI und 86,39 % der BA lagen im *SKG*-Optimalbereich von 90 kg bis 107 kg. 78,71 % der EM

erreichten diesen Optimalbereich. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass EM nicht mit dieser Abrechnungsmaske (Abbildung 1), sondern mit einer eigenen bewertet wurden. Der Anteil der Tiere mit *SKG* unterhalb des Optimalbereichs betrug zwischen 10,69 % (GI) und 18,16 % (EM), der Anteil der schwereren Tiere zwischen 2,92 % (BA) und 5,23 % (IC).

Bei allen Teilstücken verzeichneten GI gefolgt von IC im Mittel die höchsten Werte, mit Ausnahme von *BAC*, bei welchem BA durchschnittlich die höchsten Werte gefolgt von IC, EM und GI aufwiesen. Die Differenz des schwersten und leichtesten *BAC* zwischen BA und GI betrug dabei 390 g. EM und GI unterschieden sich bei diesem Parameter nicht-signifikant ($p=0,9250$). Die Teilstücke *KLT*, *LAC*, *SiS* und *SuS* waren bei BA im Mittel am leichtesten. EM wiederum zeigten die niedrigsten Mittelwerte für *SCI* und *SCU*, wobei sie sich bei *SCU* nicht signifikant von BA unterschieden ($p=0,6053$). Der Unterschied der Teilstückgewichte lag bei allen Geschlechtergruppen im Mittel unter einem kg. Die größten Geschlechterunterschiede waren bei den schwersten Teilstücken *SCI* und *SiS* mit 960 g (GI zu EM) und 880 g (GI zu BA) zu messen. Die geringsten Geschlechterunterschiede waren bei *SCU* und *SuS* mit 260 g (GI zu EM) und 310 g (GI zu BA) zu finden. Bis auf die bereits genannten nicht-signifikanten Unterschiede unterschieden sich alle Parameter zwischen den Gruppen signifikant ($p<0,0001$). Im Optimalbereich vom *SiS* (17 kg bis 20,5 kg) befand sich ein annähernd gleich großer Anteil der IC, BA (81,36 % bzw. 81,89 %) und GI (78,42 %). Darüber hinaus war im Gegensatz zu BA und EM der Anteil der GI und IC oberhalb des *SiS*-Optimalbereichs größer als unterhalb. Der Optimalbereich des Teilstück *LAC* wurde am meisten von BA und EM erreicht. Es folgen 68,37 % der IC- und 57,67 % der GI-Gruppe. GI und IC wiesen zu 41,94 % bzw. 30,85 % *LAC*-Gewichte über dem Optimalbereich auf. Die Tiere unterhalb des Optimalbereichs beliefen sich auf 0,39 % bis 1,84 %.

Entsprechend der Abrechnungsmaske des Schlachthofs lagen die Mittelwerte der Parameter *SKG*, *MFA(B)*, *SiS* und *LAC* in Tabelle 5 bei allen Geschlechtergruppen im Optimalbereich. Der prozentuale Anteil der Tiere ober- und unterhalb des Optimalbereichs der Abrechnungsmaske

ähnelt dem Ergebnis der deskriptiven Statistik (Tabelle 5). Das bedeutet, die Geschlechtergruppen mit höheren Ergebnissen bei den Schlachttierkörperparametern verzeichneten auch einen höheren Prozentsatz oberhalb des Optimalbereichs der Abrechnungsmaske und umgekehrt. GI (96,2) und IC (95,2) verzeichneten im Mittel die höchsten *RP* gefolgt von BA und EM mit jeweils 93,1 *RP*. Nach Berücksichtigung des Schlachttierkörpergewichts wiesen GI (1,00) gefolgt von IC und EM (jeweils 0,98) und BA (0,97) *RP/kg* weiterhin die höchsten Werte auf, während die *RP/kg* der IC und EM sich nicht-signifikant unterschieden ($p=0,0079$).

Tabelle 5: Schlachttierkörpercharakteristika und -teilstücke (AutoFOM III™) aufgeteilt nach Geschlecht

Parameter		Geschlecht			
		IC (n=434.479)	GI (n=790.911)	BA (n=365.880)	EM (n=22.390)
SCHLACHTTIERKÖRPERCHARAKTERISTIKA					
MFA(G) (%)	M	61,66 ± 2,53	62,69 ± 2,51	59,60 ± 2,91	62,33 ± 2,26
	MD	61,90 ± 3,30	62,90 ± 3,30	59,80 ± 3,80	62,50 ± 2,90
MFA(B) (%)	M	59,09 ± 3,69	60,27 ± 3,59	56,25 ± 4,21	60,25 ± 3,17
	MD	59,50 ± 4,80	60,70 ± 4,60	56,60 ± 5,30	60,60 ± 4,10
SpM (mm)	M	12,98 ± 1,93	12,33 ± 1,81	14,39 ± 2,28	12,33 ± 1,70
	MD	12,74 ± 2,47	12,09 ± 2,29	14,15 ± 2,89	12,13 ± 2,20
MuT (mm)	M	66,63 ± 4,78	68,71 ± 4,78	66,09 ± 4,77	64,03 ± 4,48
	MD	66,69 ± 6,41	68,76 ± 6,39	66,16 ± 6,32	64,10 ± 6,00
SKG (kg)	M	96,77 ± 6,14	96,49 ± 5,70	96,23 ± 5,44	94,90 ± 6,02
	MD	96,40 ± 7,60	96,20 ± 7,00	96,00 ± 6,60	94,60 ± 7,00
ZUSAMMENSETZUNG DER TEILSTÜCKE					
BAC (kg)	M	13,61 ± 1,26	13,33 ± 1,19 ^a	13,72 ± 1,17	13,41 ± 1,20 ^a
	MD	13,55 ± 1,59	13,29 ± 1,50	13,68 ± 1,47	13,39 ± 1,49
KLT (kg)	M	12,08 ± 0,85	12,20 ± 0,81	11,72 ± 0,80	11,85 ± 0,85
	MD	12,05 ± 1,08	12,18 ± 1,05	11,71 ± 1,02	11,83 ± 1,07
LAC (kg)	M	7,51 ± 0,62	7,69 ± 0,60	7,29 ± 0,60	7,36 ± 0,60
	MD	7,51 ± 0,80	7,69 ± 0,78	7,29 ± 0,78	7,35 ± 0,76
SCI (kg)	M	24,73 ± 1,59	24,95 ± 1,52	24,51 ± 1,44	23,99 ± 1,56
	MD	24,67 ± 2,00	24,90 ± 1,91	24,48 ± 1,79	23,93 ± 1,92
SiS (kg)	M	18,98 ± 1,34	19,37 ± 1,29	18,49 ± 1,33	18,51 ± 1,31
	MD	18,97 ± 1,73	19,37 ± 1,68	18,51 ± 1,71	18,48 ± 1,66
SCU (kg)	M	12,03 ± 0,72	12,06 ± 0,67	11,86 ± 0,64 ^a	11,80 ± 0,71 ^a
	MD	11,99 ± 0,88	12,03 ± 0,83	11,84 ± 0,80	11,75 ± 0,87
SuS (kg)	M	9,33 ± 0,60	9,39 ± 0,57	9,08 ± 0,56	9,13 ± 0,61
	MD	9,31 ± 0,76	9,38 ± 0,73	9,08 ± 0,72	9,10 ± 0,78
RATING POINTS					
RP	M	95,2 ± 6,6	96,2 ± 5,7	93,1 ± 7,5	93,1 ± 7,4
	MD	96,2 ± 7,6	97,2 ± 6,5	94,3 ± 7,9	94,1 ± 7,9
RP/kg	M	0,98 ± 0,04 ^a	1,00 ± 0,04	0,97 ± 0,06	0,98 ± 0,04 ^a
	MD	0,99 ± 0,04	1,00 ± 0,04	0,98 ± 0,05	0,99 ± 0,04

Parameter in einer Zeile mit mindestens einem identischen Buchstaben unterscheiden sich nicht-signifikant ($p > 0,0004$); p-values basieren auf dem emmean ± SE der Parameter, Mittelwert: $M \pm SD$ (M), Median: $MD \pm IQR$ (MD)

Tabelle 6: Prozentsatz der Schlachttierkörper, die das Optimum der Abrechnungsmaske treffen sowie darüber und darunter liegen aufgeteilt nach Geschlecht

Gruppierung	Geschlecht			
	IC	GI	BA	EM
<u>SKG</u>				
< 90 kg	11,31%	10,72%	10,69%	18,16%
90 - 107 kg (Optimum)	83,46%	85,47%	86,39%	78,71%
> 107 kg	5,23%	3,81%	2,92%	3,13%
<u>SiS</u>				
< 16 kg	1,38%	0,64%	3,18%	2,74%
16 - 16,49 kg	1,65%	0,84%	3,25%	3,00%
16,5 - 16,99 kg	3,41%	1,85%	5,79%	5,60%
17 - 20,5 kg (Optimum)	81,36%	78,42%	81,89%	82,32%
20,51 - 21 kg	5,75%	8,43%	3,14%	3,16%
> 21 kg	6,44%	9,83%	2,75%	3,18%
<u>BAC/MFA(B)</u>				
< 12 kg	8,44%	11,73%	6,02%	10,49%
< 48 %	0,83%	0,50%	3,56%	0,22%
48 - 52,99 %	5,02%	3,01%	15,82%	2,12%
53 - 61,99 % (Optimum)	67,98%	57,93%	69,37%	61,57%
≥ 62 %	17,73%	26,83%	5,23%	25,60%
<u>LAC</u>				
< 6 kg	0,79%	0,39%	1,84%	1,24%
6 - 7,8 kg (Optimum)	68,37%	57,67%	79,32%	77,58%
> 7,8 kg	30,85%	41,94%	18,84%	21,18%

EM: Bewertung der EM nicht anhand der Abrechnungsmaske, Darstellung dient nur der besseren Übersicht.

3. Entwicklung der Schlachttierkörperparameter über den Studienzeitraum

Die Entwicklung der Schlachttierkörpercharakteristika und Teilstückgewichte ist in den nachfolgenden Box-Violin-Plots dargestellt. Die Optimalbereiche der Parameter *SKG*, *SiS*, *BAC/MFA(B)* und *LAC* sind entsprechend der Abrechnungsmaske des Schlachthofes (Abbildung 1) grau hinterlegt. Die Differenzen der Parameter sind in einem weiteren Diagramm dargestellt. Nicht-signifikante Ergebnisse der Differenzen ($p < 0,0004$) sind in der Abbildung verblasst. Die adjustierten Mittelwerte der Schlachttierkörperparameter, aufgeteilt in die fünf Analysejahre, sind in Tabelle 7 im Anhang aufgeführt.

Muskelfleischanteil Gesamt (*MFA(G)*) und Bauch (*MFA(B)*)

Der *MFA(G)* stieg bei allen vier Geschlechtergruppen über den Studienzeitraum hinweg an (Abbildung 2A). Gleichzeitig verringerten sich die Differenzen zwischen den Geschlechtern (Abbildung 2B). EM und GI besaßen zu allen Zeitpunkten den höchsten *MFA(G)* und unterschieden sich am wenigsten untereinander, wobei deren Differenzen auch am wenigsten Veränderungen zeigten. BA verzeichneten den niedrigsten *MFA(G)*. Der *MFA(G)* der IC lag zwischen 2019 und 2022 immer zwischen BA und GI bzw. EM. Dabei zeigten IC bis 2021 geringere Differenzen zu GI als zu BA.

Ein ähnliches Bild zeigte sich auch beim *MFA(B)* (Abbildung 2C & D). So stieg auch dieser im Mittel in allen Geschlechtergruppen kontinuierlich an und die Differenzen zwischen den Geschlechtergruppen verringerten sich. EM und GI besaßen einen höheren *MFA(B)* als IC (ab 2019), gefolgt von BA. EM und GI wiesen geringere Differenzen zueinander auf als zu IC und BA. BA wiesen zu allen Geschlechtergruppen die größten Differenzen auf. Die Differenzen des *MFA(G)* zwischen den Geschlechtergruppen waren im Allgemeinen geringer als die des *MFA(B)*.

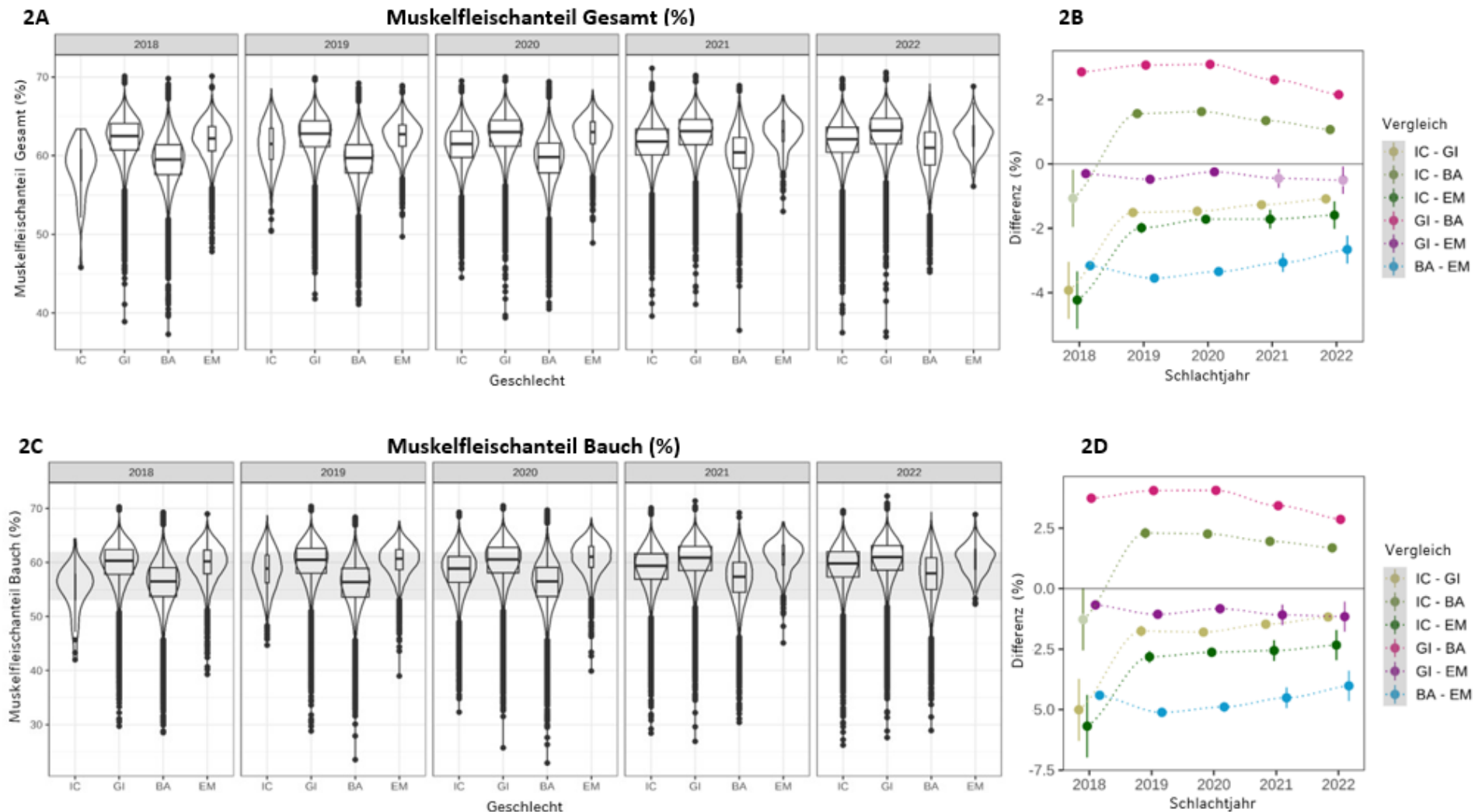


Abbildung 2: Box-Violin-Plot von MFA(G) (2A) und MFA(B) (2C) in % aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr (Optimalbereich grau hinterlegt); Vergleich der Differenzen (%) von MFA(G) (2B) und MFA(B) (2D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)

Muskeltiefe (MuT)

Die *MuT* nahm im Mittel über den Studienzeitraum hinweg bei allen Geschlechtergruppen zu (Abbildung 3A). Mit Ausnahme von 2018 lag die *MuT* der IC und BA zwischen GI und EM, wobei die Differenz von IC zu BA seit 2019 geringere Unterschiede aufwies als zu GI und EM (Abbildung 3C). Die Differenzen der *MuT* zwischen den Geschlechtergruppen verringerten sich von 2019 bis 2022 mit Ausnahme von IC zu GI.

Speckmaß (SpM)

Das *SpM* sank in allen Geschlechtergruppen von 2018 bis 2022 (Abbildung 3B). Dabei war ein stärkeres Absinken des *SpM* der IC und BA im Vergleich zu GI und EM erkennbar. EM und GI besaßen über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg im Mittel das niedrigste *SpM* und die geringsten Differenzen zueinander (Abbildung 3D). Das *SpM* der IC lag kontinuierlich über diesen, aber unter dem der BA (ab 2019). Auch die Differenzen des *SpM* zwischen den Geschlechtern nahmen bei allen Vergleichen bis auf GI zu EM und IC zu BA (2018) ab. Die Differenzen waren ab 2019 zwischen IC und GI geringer als zwischen IC und BA.

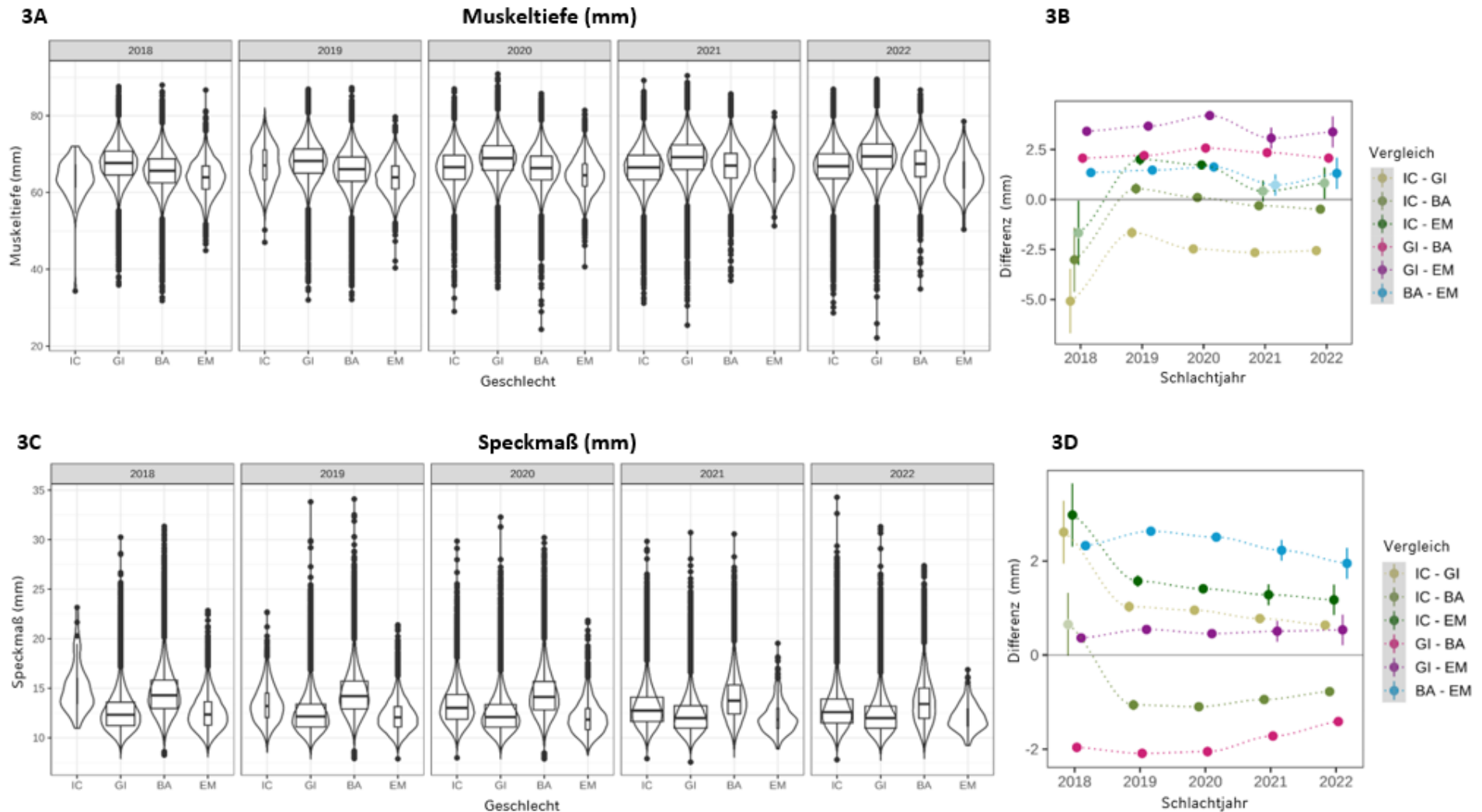


Abbildung 3: Box-Violin-Plot von *MuT* (3A) und *SpM* (3C) in mm aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr; Vergleich der Differenzen (mm) von *MuT* (3B) und *SpM* (3D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)

Schlachttierkörpergewicht (SKG)

Das SKG nahm im Mittel bei IC, BA und GI über den Studienzeitraum hinweg zu (Abbildung 4A). EM zeigten nach einem Maximalwert 2019 (98,14 kg) im Jahr 2022 ein niedrigeres Gewicht (93,73 kg) als zu Beginn der Aufzeichnungen. Vor dem Maskenwechsel im Februar 2020 mit niedrigeren Optimalgewichten des SKG besaßen IC bis 2020 das höchste SKG. Ab 2021 lag das SKG der BA und GI über dem der IC. Dabei verzeichneten IC, GI und BA untereinander die niedrigsten Differenzen (Abbildung 4C). Zwischen den Jahren 2019 und 2020, dem Jahr des Maskenwechsels zu einem höheren Optimalgewicht, war ein größerer Anstieg des SKG bei IC, GI und BA im Vergleich zu den anderen Jahren erkennbar. Der Maskenwechsel nahm einen signifikanten Einfluss auf das SKG aller Geschlechter ($p < 0,0001$).

Bauch (BAC)

Mit Ausnahme des Jahres 2018 lieferten BA im Mittel die schwersten BAC-Gewichte, welche über den Zeitraum kaum variierten (-0,1 kg von 2018-2022) (Abbildung 4B). Ab 2019 verzeichneten IC BAC-Gewichte zwischen BA und GI bzw. EM. EM besaßen, nach einem vorausgegangenen Anstieg, im Jahr 2022 das niedrigste Teilstückgewicht des BAC. Die Differenzen des BAC zwischen IC, BA und GI verringerten sich über die fünf Jahre (Abbildung 4D). Der Unterschied der IC zu BA besaß ab 2019 die niedrigsten Differenzen. Während sich die GI bis 2020 am geringsten von EM unterschieden, so zeigten diese ab dem Jahr 2021 den geringsten Unterschied zu IC. Die Differenzen mit Beteiligung der EM nahmen nach einer Annäherung bis zum Jahr 2021 im Jahr 2022 wieder zu.

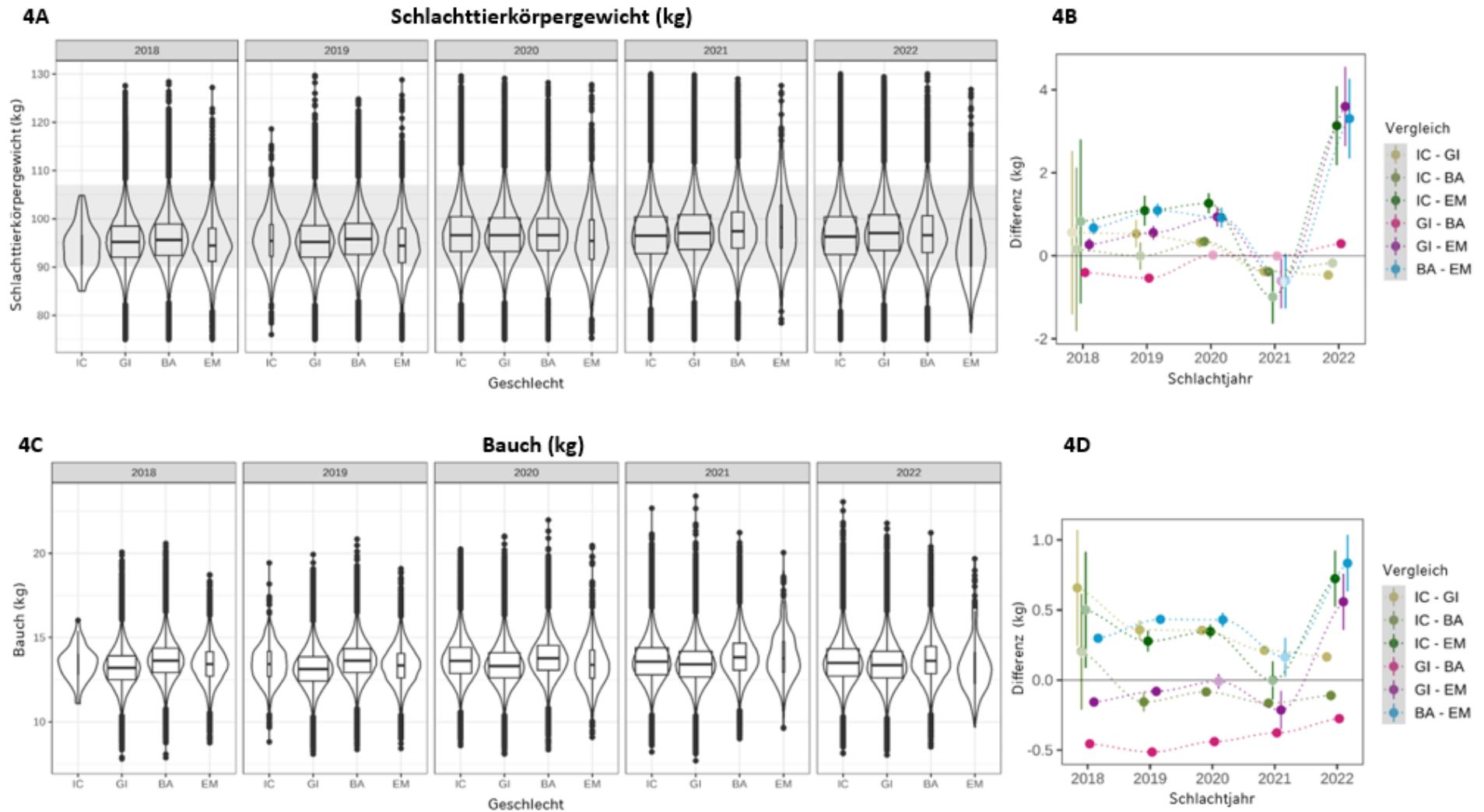


Abbildung 4: Box-Violin-Plot von SKG (4A) und BAC (4C) in kg aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr (Optimalbereich grau hinterlegt); Vergleich der Differenzen (kg) von SKG (4B) und BAC (4D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)

Schinken (SCI) und Schinken schier (SiS)

Über den Untersuchungszeitraum hinweg nahmen *SCI* (Abbildung 5A) und *SiS* (Abbildung 5C) in allen Geschlechtergruppen sukzessiv zu (Ausnahme: EM in 2022). Die schwersten *SCI* und *SiS* besaßen GI, welche zwischen den Jahren 2019 und 2020 eine stärkere Zunahme der Teilstückgewichte verzeichneten als in den anderen Jahren. IC und BA zeigten die geringsten Differenzen (Abbildung 5B), wobei IC in den Jahren 2019/2020 höhere Gewichte verzeichneten. IC besaßen, mit Ausnahme des Jahres 2018, schwerere *SiS* als BA, aber wiesen geringere Unterschiede zu diesen als zu GI auf (Abbildung 5D). Die Differenzen zwischen IC, BA und GI divergierten ab 2019 bei beiden Parametern kaum ($< 0,5$ kg), während die Differenzen mit Beteiligung der EM größere Änderungen aufwiesen.

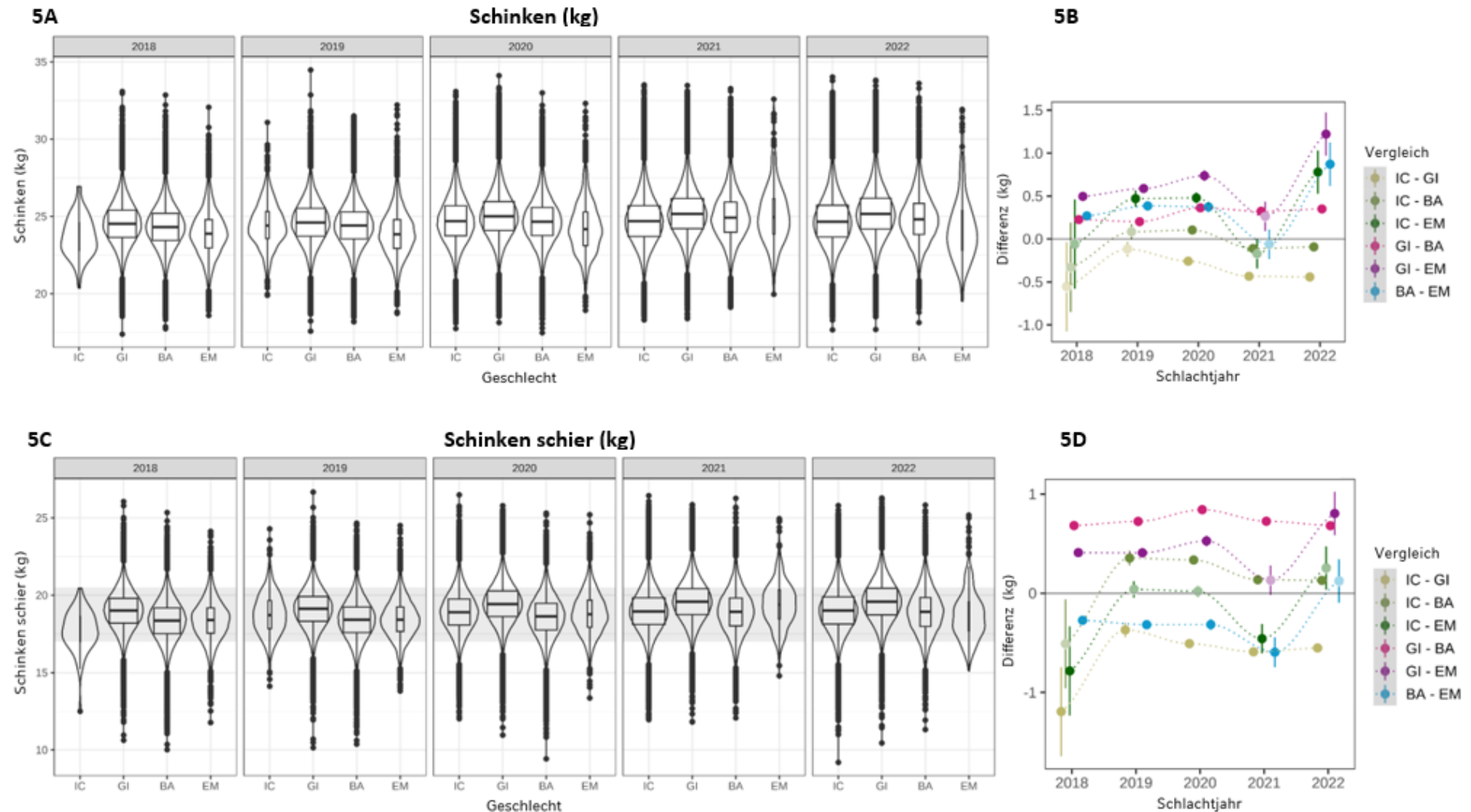


Abbildung 5: Box-Violin-Plot von *SCI* (5A) und *SiS* (5C) in kg aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr (Optimalbereich grau hinterlegt); Vergleich der Differenzen (kg) von *SCI* (5B) und *SiS* (5D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)

Kotelett (KLT) und Lachs (LAC)

Das schwerste *KLT* (Abbildung 6A) und *LAC* (Abbildung 6C) besaßen GI, gefolgt von EM und IC. GI verzeichneten zwischen den Jahren 2019 und 2020 eine stärkere Zunahme der Teilstückgewichte als in den anderen Jahren. BA wiesen mit Ausnahme der Jahre 2018 und 2022 die niedrigsten Gewichte auf. *KLT* und *LAC* stiegen in allen Geschlechtergruppen kontinuierlich an (Ausnahme: EM 2022). Die Differenzen beider Parameter zwischen IC, BA und GI wiesen ab 2019, im Gegensatz zu den Differenzen unter Beteiligung der EM, lediglich geringe Schwankungen auf (Abbildung 6B & D). Die Differenzen zwischen IC und GI waren bei beiden Parametern ab 2019 geringer als zwischen BA und GI. Dennoch verringerten sich ebenfalls die Differenzen von IC zu BA.

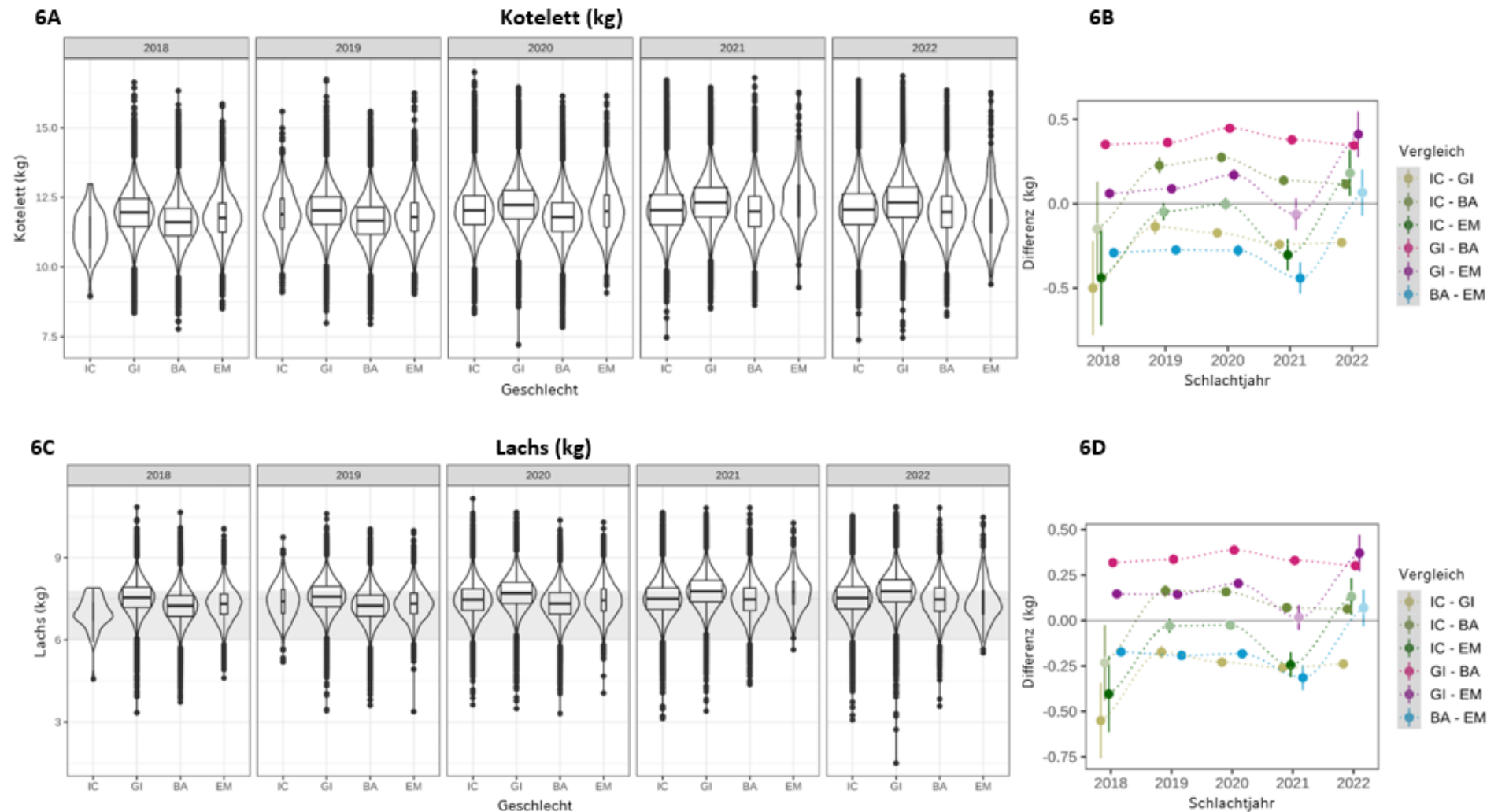


Abbildung 6: Box-Violin-Plot von *KLT* (6A) und *LAC* (6C) in kg aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr (Optimalbereich grau hinterlegt); Vergleich der Differenzen (kg) von *KLT* (6B) und *LAC* (6D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)

Schulter (SCU) und Schulter schier (SuS)

Die SCU- (Abbildung 7A) und SuS-Gewichte (Abbildung 7C) stiegen im Untersuchungszeitraum bei allen Geschlechtergruppen an (Ausnahme: EM 2022). GI besaßen, außer im Jahr 2021 als EM höhere Werte aufwiesen, die schwersten Gewichte von SCU und SuS. Ab 2019 besaßen IC im Mittel schwerere Teilstückgewichte als BA und wiesen 2021/2022 die geringsten Differenzen zu diesen auf. In den Jahren 2019/2020 verzeichneten IC zu GI die geringsten Differenzen der SCU (Abbildung 7B) und IC zu EM die geringsten Differenzen der SuS (Abbildung 7D). Die Unterschiede zwischen IC, BA und GI variierten ab 2019 nur geringfügig über die Jahre ($< 0,12$ kg).

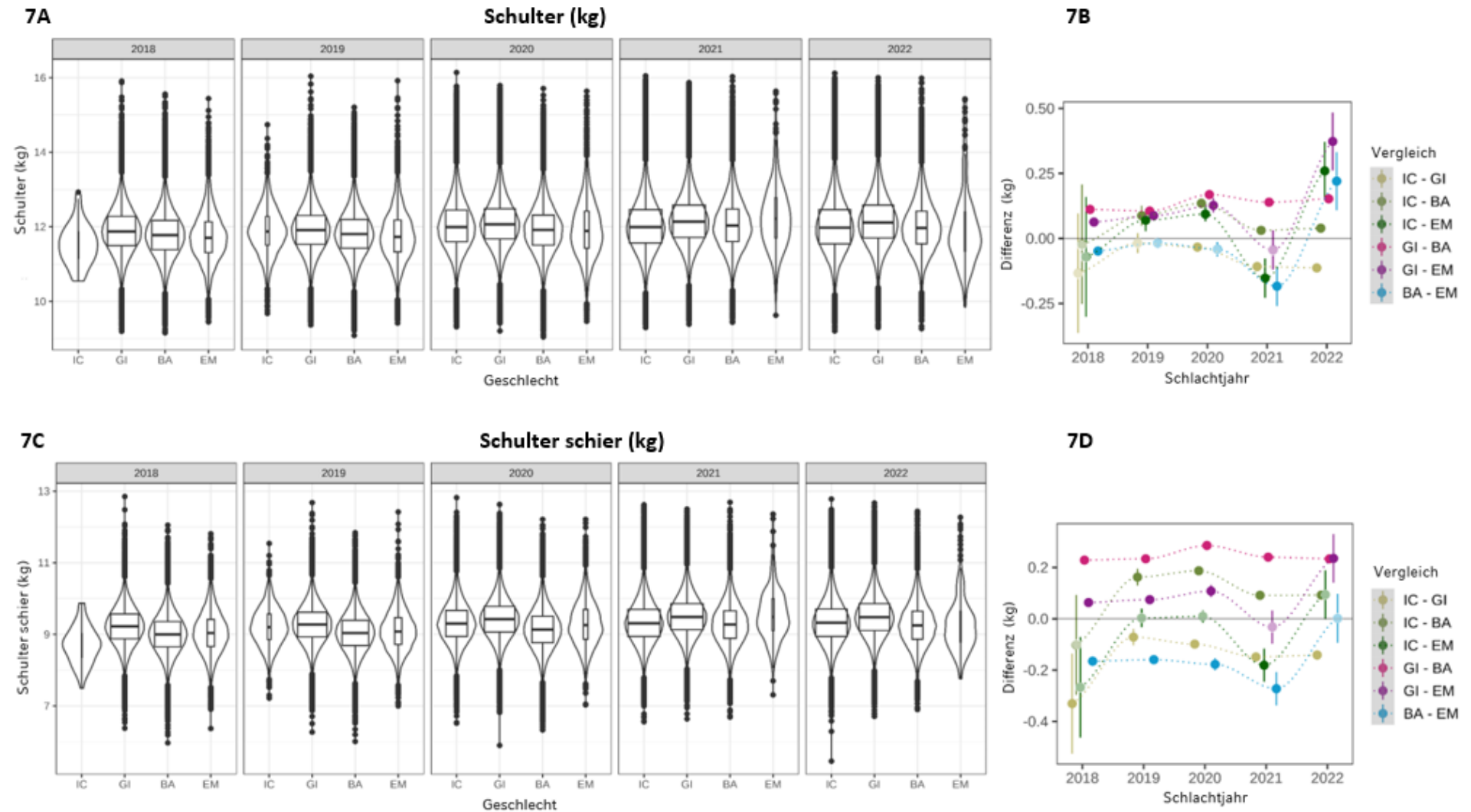


Abbildung 7: Box-Violin-Plot von SCU (7A) und SuS (7C) in kg aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr; Vergleich der Differenzen (kg) von SCU (7B) und SuS (7D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)

Rating Points (RP) und RP/kg

RP und RP/kg stiegen bei allen Geschlechtergruppen an (Abbildung 8A & B). GI wiesen im Mittel die höchsten RP und RP/kg über den gesamten Untersuchungszeitraum auf. Dahingegen zeigten BA die geringsten Werte. IC ordneten sich ab 2019 über diesen ein. EM verzeichneten 2022 geringere RP als zu Beginn der Studie. Bis 2022 zeigte sich eine Verringerung der Differenzen der RP/kg in allen Geschlechtergruppen (Abbildung 8D). Während die Differenz der IC zu GI bei RP und RP/kg zu Beginn des Untersuchungszeitraums geringer war, zeigten die Differenzen der IC zu den BA ab 2020 (RP/kg) bzw. 2021 (RP) geringere Unterschiede.

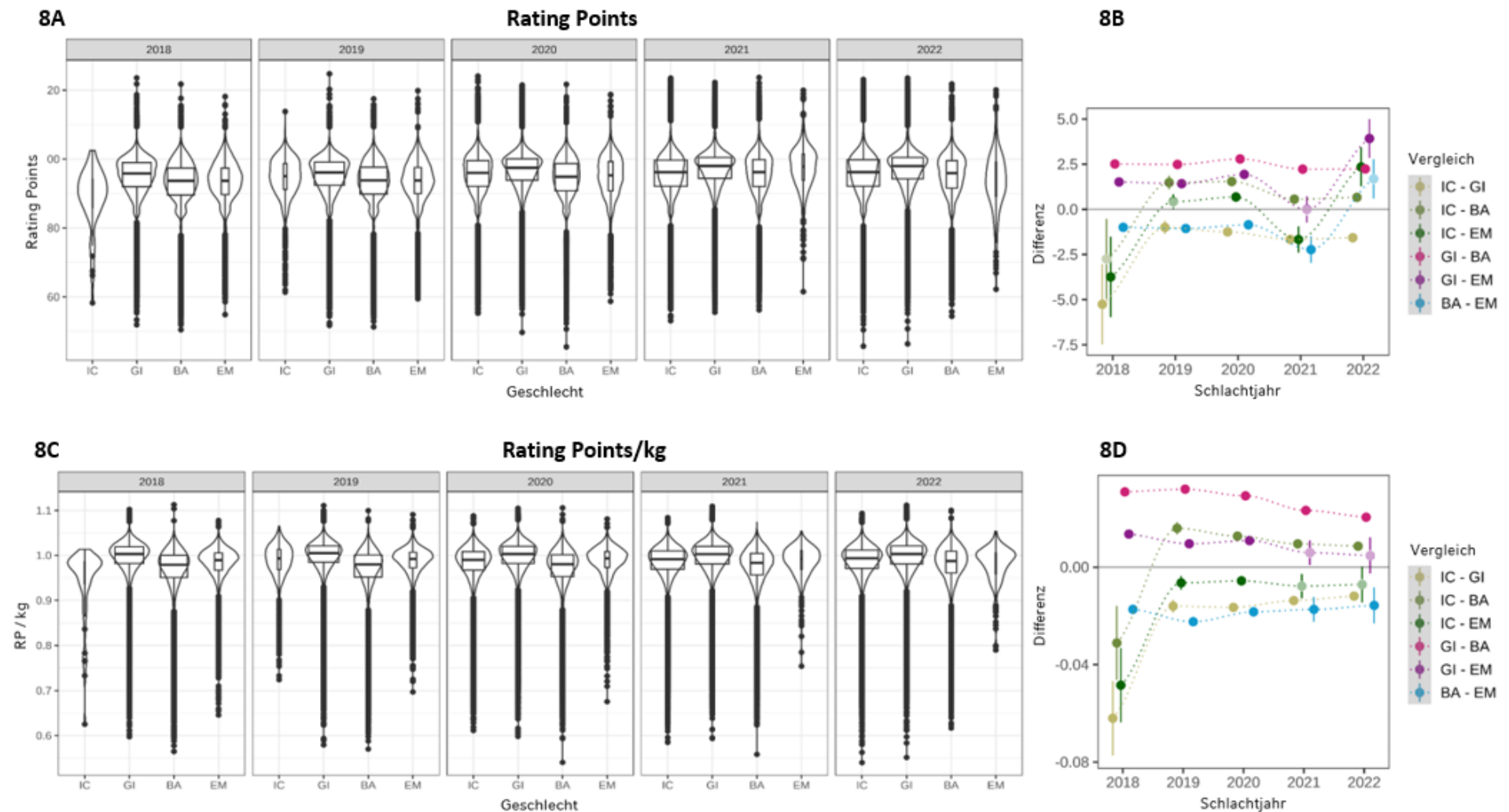


Abbildung 8: Box-Violin-Plot von *RP* (8A) und *RP/kg* (8C) aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr; Vergleich der Differenzen von *RP* (8B) und *RP/kg* (8D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)

4. Einflussfaktoren auf die Schlachttierkörperparameter

Mittels einer Regressionsanalyse (Random Forest Klassifikation) wurde die Prädiktionskraft aller Schlachttierkörperparameter für die Geschlechtergruppen dargestellt (Abbildung 9). Dabei besaßen *MFA(G)*, gefolgt von *SpM*, *MFA(B)* und *MuT* die höchste Vorhersagbarkeit der AutoFOM III™ erfassten Parameter. *BAC*, *KLT* und *SiS* zeigten die größte Prädiktion der Teilstücke auf die Antwortvariable.

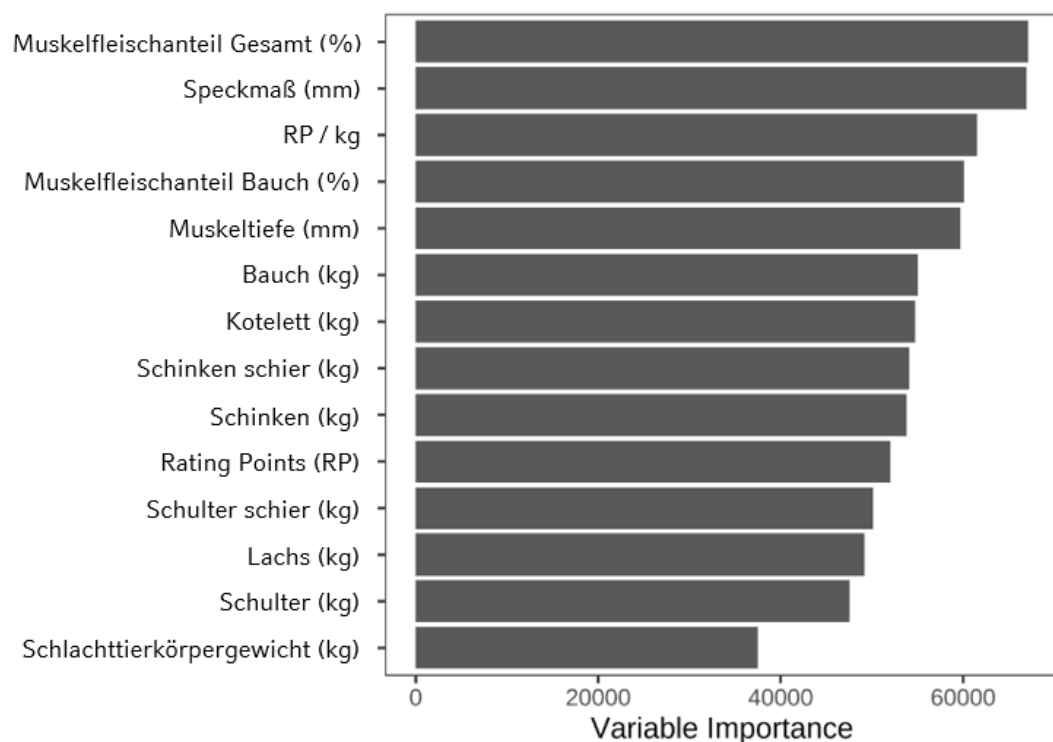


Abbildung 9: Prädiktorengröße (Variable Importance) der Schlachttierkörperparameter für die Geschlechtergruppen nach der Random Forest Klassifikation, gemessen an Mean Decrease in Accuracy

Basierend auf den Ergebnissen der Random Forest Klassifikation wurden die Parameter *MFA(G)*, *SpM*, *RP/kg*, *MFA(B)* sowie aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung *SiS*, *LAC* und *SKG* für die Auswertung der Einflussnahme der Faktoren Geschlecht, Betrieb, Schlachtjahr und Schlachttierkörpergewicht herangezogen. Diese sind in Abbildung 10 dargestellt. Das Geschlecht, gefolgt vom Betrieb, hatte hierbei den

größten Einfluss auf $MFA(G)$, $MFA(B)$, SpM und die RP/kg . Im Gegensatz dazu wurden die Teilstücke SiS und LAC am stärksten durch das Schlachttierkörpergewicht, gefolgt vom Geschlecht, beeinflusst. SKG wurde hingegen am stärksten durch den Betrieb und am geringsten durch das Geschlecht beeinflusst. Es zeigte sich, dass das Schlachtjahr im Vergleich zu den anderen Faktoren nur einen geringen Einfluss auf die Schlachttierkörperparameter nahm.

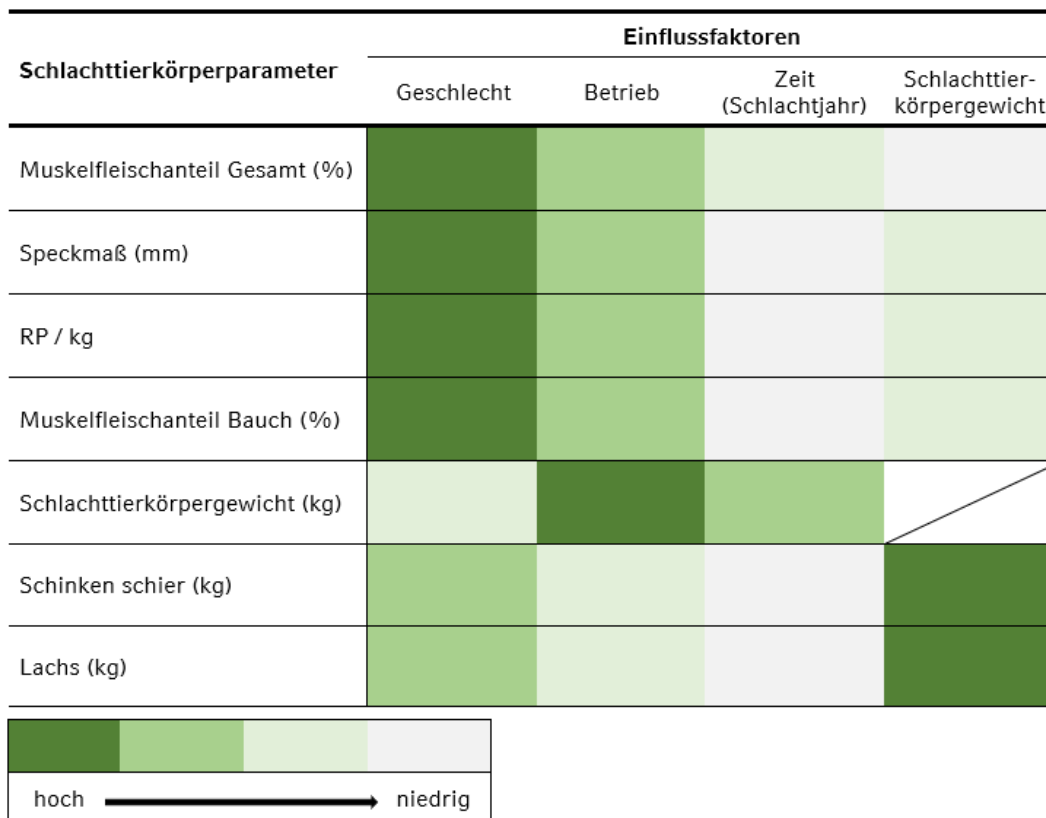


Abbildung 10: Höhe des Einflusses von Geschlecht, Betrieb, Zeit und Schlachttierkörpergewicht auf die Schlachttierkörperparameter

V. DISKUSSION

Vor dem Hintergrund steigender Anforderungen an eine tiergerechtere Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion erscheint neben der Kastration unter Betäubung und der Ebermast auch die wenig invasive, aber dennoch effektive Methode der Immunisierung gegen körpereigenes GnRH zur Reduktion des Ebergeruchs vielversprechend (McGlone et al., 2016; Kress et al., 2019; von Borell et al., 2020; Zöls et al., 2020). Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Einfluss dieses Verfahrens hinsichtlich der Schlachttierkörperzusammensetzung zu untersuchen, um sie auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit sowohl für die Landwirtinnen und Landwirte als auch für die nachgelagerte fleischverarbeitende Industrie als Ersatz für chirurgisch kastrierte Mastschweine zu bewerten.

Angesichts der Tatsache, dass die Schätzformeln für das in Schlachthöfen weit verbreitete Klassifizierungssystem AutoFOM III™ auf der Grundlage von Daten weiblicher Mastschweine sowie chirurgisch kastrierter und intakter Eber erstellt wurden, stellt sich auch zunehmend die Frage, wie Schlachttierkörper von Immunokastraten im Vergleich zu weiblichen Mastschweinen und chirurgischen Kastraten durch AutoFOM III™ bewertet werden (Branscheid et al., 2011). Dies wirft weiter die Frage auf, ob Immunokastraten in eine bestehende Kategorie des Klassifizierungssystems integriert werden können oder ob eine eigene Schätzformel entwickelt werden muss.

In der vorliegenden Untersuchung wurden dafür Schlachtdaten retrospektiv ausgewertet, die mittels AutoFOM III™ in einem Schlachthof im Nordwesten Deutschlands erfasst wurden. Im Hinblick auf die ab 2021 verbotene betäubungslose Saugferkelkastration (TierSchG, 2022) bot dieser Schlachthof seinen Lieferbetrieben bereits ab 2018 die Möglichkeit immunologisch kastrierte Mastschweine anzuliefern, diese mit dem AutoFOM III™ Klassifizierungssystem zu bewerten und anhand der schlachthofeigenen Abrechnungsmaske für weibliche Mastschweine und chirurgische Kastraten abzurechnen. Ab 2020 beteiligte sich das Schlachtunternehmen dann auch an dem, auf Initiative der

Landwirtschaft ins Leben gerufenen, „100.000 Improvac® Tiere“ Projekt (Breustedt-Muschalla, 2021; Niemann, 2021).

Für die Auswertung standen Daten von allen Schlachttieren aus diesem Schlachtbetrieb zur Verfügung, die zwischen 02.01.2018 und 24.11.2022 geschlachtet und mittels AutoFOM III™ bewertet wurden sowie aus Betrieben stammten, die in diesem Zeitraum mindestens ein immunologisch kastriertes Tier lieferten. Dementsprechend enthielt der Datensatz insgesamt 1.736.684 Tiere mit einem Geschlechterverhältnis von 1 : 1,12 (weiblich zu männlich). Jedem Schlachttier war individuell, entsprechend dem routinemäßigen Vorgehen, Schlachtdatum, Herkunftsbetrieb, Schlacht- und Klassifizierungsnummer, Schlagstempelnummer und Geschlecht sowie die mittels AutoFOM III™ erhobenen Schlachttierkörperparameter und die Befunde der Schlachttier- und Fleischuntersuchung zugeordnet. Zudem war mit den anliefernden Landwirtinnen und Landwirten vereinbart, dass mit Improvac® immunisierte Tiere und intakte Eber mit einem zusätzlichen Buchstaben am Ende der Schlagstempelnummer gekennzeichnet werden mussten. Dadurch konnte jedem männlichen Tier durch die Zuordnung von Geschlecht und Schlagstempelnummer die neue Geschlechterkategorie BA (chirurgische Kastraten), IC (immunisierte Eber) und EM (intakte Eber) eindeutig zugeordnet werden. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass es bei einzelnen Tieren hierbei zu einer fehlerhaften Zuordnung kam, auch wenn vom Schlachthof die Zuordnung, ob geimpfte Tiere geliefert wurden, überprüft wurde. Jedoch erscheint der Einfluss einer einzelnen fehlerhaften Zuordnung wegen der hohen Tierzahl von über 1,7 Millionen Tieren gering. Da es sich um eine retrospektive Auswertung handelt, war es nicht möglich Angaben zu Impfzeitpunkt, Schlachalter, Fütterung, Haltung und genauer Genetik bei der Auswertung zu berücksichtigen, da diese Angaben vom Schlachthof nicht abgefragt wurden und daher im Datensatz nicht hinterlegt waren. Auf eine Nachbefragung der Landwirtinnen und Landwirte zu Managementmaßnahmen wurde verzichtet, da diese zum einen aus Datenschutzgründen schwierig umzusetzen gewesen wäre und zum anderen auch als zu ungenau eingeschätzt wurde. Bereits vor der

Bearbeitung und Auswertung des Datensatzes wurde dieser anhand der zuvor festgelegten Ausschlusskriterien verblindet überprüft, um unvollständige sowie fehlerhafte Daten von Tieren auszuschließen bzw. eine Verzerrung der Ergebnisse zu vermeiden. Dadurch wurden 21 Betriebe von insgesamt 203 Betrieben mit 123.024 Tieren ausgeschlossen. Beispielsweise wurden Tiere mit unvollständigen oder nicht plausiblen Daten (Muskelfleischanteil von 0 %, fehlende oder uneindeutige Geschlechterzuordnung, etc.) ausgeschlossen, da hierbei von Mess- oder Zuordnungsfehlern auszugehen war. Zudem wurden Tiere, die keine Masthybriden waren (z. B. Vermehrerzuchtgenetik, Ferkel, Sauen, Eber aus Nicht-Masteberpartien) sowie Zwitter und Kryptorchiden nicht berücksichtigt, um eine Verzerrung der Ergebnisse der Geschlechtergruppen zu vermeiden. So wurde bereits in früheren Studien der Einfluss der Haltung, Fütterung, des Alters und der Genetik auf die Schlachttierkörperzusammensetzung beschrieben (Latorre et al., 2004; Fischer et al., 2006; Heyrman et al., 2019; Kowalski et al., 2021; Niemann, 2021).

Für das Klassifizierungssystem AutoFOM III™ sind nach dem Durchführungsbeschluss der EU-Kommission (Durchführungsbeschluss 2011/258/EU) Gewichtsgrenzen für Tiere zwischen 50 und 120 kg festgesetzt. Jedoch wurden für die Auswertung der Daten Tiere zwischen 75 und 130 kg eingeschlossen, da nach den Erfahrungen des Schlachthofes innerhalb dieser Gewichtsgrenzen von zuverlässigen Messungen zur Beurteilung der Schlachttierkörper auszugehen ist. Da der Fokus der Studie auf der Untersuchung des Einflusses der GnRH-Immunisierung lag, wurden zudem nur Tiere aus Betrieben in die Analyse einbezogen, welche bezogen auf ihre Gesamtliefermenge mindestens 5 % IC-Tiere lieferten. Zudem wurden Betriebe ausgeschlossen deren Gesamtliefermenge weniger als 20 % männliche bzw. weibliche Tiere enthielt, um eine Vergleichbarkeit der männlichen Mastschweine zur weiblichen „Kontrollgruppe“ zu ermöglichen. Entsprechend enthielt der Datensatz ein nahezu ausgeglichenes Geschlechterverhältnis zwischen weiblichen (790.089) und männlichen

(822.689) Mastschweinen, bzw. zwischen IC (434.479 Tiere) und BA (365.880 Tiere).

1. Schlachtzahlen

Die ursprünglich erfassten circa 1,7 Millionen Tiere stammten aus 203 Betrieben mit unterschiedlichen Anlieferungsmengen. Bei den circa 1,6 Millionen in die Auswertung eingeschlossenen Mastschweinen bestätigte sich das ausgeglichene Geschlechterverhältnis zwischen weiblichen und männlichen Tieren auch in den Gesamtliefermengen pro Betrieb von 2.387 ± 2.050 IC, 2.033 ± 2.197 BA und 4.346 ± 3.781 Gl. Trotz gleichbleibender Schlachtzahlen der Gl, sanken die jährlichen Schlachtzahlen der BA von circa 120.000 Tieren im Jahr 2018 kontinuierlich ab und lagen 2022 bei weniger als 20.000 Tieren. Hingegen stieg die Anzahl geschlachteter IC pro Jahr gegenläufig von 52 Tieren aus zwei Betrieben 2018 auf mehr als 170.000 Tiere im Jahr 2022. Die Schlachtzahlen der EM beliefen sich 2018 lediglich auf 22.390 Tiere aus 85 Betrieben und sanken in den Jahren 2021 und 2022 auf 479 und 224 Tiere (aus 27 bzw. 6 Betrieben) weiter ab. Die Entwicklung der Schlachtzahlen verdeutlichte, dass sich 182 der 203 Betriebe entschieden, unter den vom Schlachthof festgelegten Bedingungen, zumindest bei einem Teil der Tiere auf die chirurgische Kastration bzw. die Mast intakter Eber zu verzichten und Immunokastraten zu mästen. Bei der Auswertung der Schlachttierkörperparameter der EM und IC über die Jahre hinweg muss berücksichtigt werden, dass insbesondere 2018 bei IC und 2021/2022 bei EM nur wenige Tiere aus wenigen Betrieben, teils mit erheblichen Abweichungen, besonders des Schlachttierkörpergewichts, geliefert wurden, die wenig repräsentativ zu den darauffolgenden bzw. vorhergehenden Jahren erscheinen.

2. Einflussfaktoren auf die Schlachttierkörperparameter

Entsprechend der Random Forest Klassifikation besaßen die Schlachttierkörperparameter $MFA(G)$, $MFA(B)$, SpM und RP/kg die höchste Variable Importance und Vorhersagbarkeit für die Geschlechtergruppen. Dies zeigte sich auch deutlich, da das Entfernen von einem der vier Parameter zu einer erheblichen Minderung der Vorhersagbarkeit für die Geschlechtergruppen führte. Die Ergebnisse der Random Forest Klassifikation bestätigen sich bei der Analyse der Einflussfaktoren auf die Schlachttierkörperparameter. So hatte das Geschlecht den größten Einfluss auf $MFA(G)$, $MFA(B)$, SpM und RP/kg . Der große Einfluss des Geschlechts wurde in den Meta-Analysen von Batorek et al. (2012) und Poulsen Nautrup et al. (2018) sowie Studien von Gispert et al. (2010) und Kress et al. (2020) bestätigt, welche signifikante Unterschiede zwischen den Schlachttierkörperparametern der Geschlechtergruppen hervorhoben. Die An- und Abwesenheit der steroidalen Sexualhormone, der Zeitpunkt der Unterdrückung ihrer Wirkung durch die Zweitimpfung bei den Immunokastraten sowie der sexuelle Dimorphismus tragen zu den unterschiedlich vom Geschlecht beeinflussten Ergebnissen bei (Walstra und Maarse, 1970; Gispert et al., 2010; McPherson und Chenoweth, 2012; Kress et al., 2020). In diesen Untersuchungen unterschieden sich einerseits die Schlachttierkörperparameter der Immunokastraten zu chirurgischen Kastraten sowie weibliche Mastschweine zu intakten Ebern oftmals nicht-signifikant, während sich Immunokastraten und chirurgische Kastraten wiederum signifikant zu weiblichen Mastschweinen und intakten Ebern, welche die gesamte Mastperiode einen intakten Hormonstatus besaßen, unterschieden (Kress et al., 2020; Škrlep et al., 2020). Auf der anderen Seite stellte sich der Einfluss des sexuellen Dimorphismus in der vorliegenden Studie äquivalent zur Literatur durch eine geringere MuT und SpM der intakten Eber dar (Walstra und Maarse, 1970; McPherson und Chenoweth, 2012; Kress et al., 2020; Škrlep et al., 2020). Auch das Geschlecht beeinflusst das Fress- und Sozialverhalten (Stress), welches wiederum Einfluss auf die Schlachttierkörperparameter (insbesondere Speckmaß und Muskelfleischanteil) in verschiedenen Untersuchungen

nahm (Fischer et al., 2006; Fàbrega et al., 2010; Andersson et al., 2012; Moore et al., 2017). In den vorliegenden Untersuchungen war für das SKG der Einfluss des Betriebs am höchsten und der vom Geschlecht am geringsten. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Schlachtung von Mastgruppen aus verschiedenen Betrieben die Tiere clustert, da sich die Landwirtinnen und Landwirte unter anderem auch am Optimalgewicht der Abrechnungsmaske orientieren (Niemann, 2017). Dies unterstreicht auch den Einfluss der Abrechnungsmaske bzw. des Maskenwechsels auf das SKG im Februar 2020, welcher in den Folgejahren zu höheren SKG in allen Geschlechtergruppen führte. Da die vorliegende Auswertung auf Felddaten basiert und Informationen zu Fütterung, Haltung, Impfzeitpunkt, Schlachttalter und genauer Genetik fehlen, die laut Literatur sowohl das Schlachttierkörpergewicht als auch die Schlachttierkörperparameter beeinflussen, kann der Einfluss dieser nicht evaluiert bzw. diskutiert werden, sondern lediglich der Betriebseinfluss im Gesamten (Fischer et al., 2006; Moore et al., 2017; Poulsen Nautrup et al., 2018; Morgan et al., 2019; Kress et al., 2020; Škrlep et al., 2020; Niemann, 2021). In der vorliegenden Auswertung besaß das Schlachttierkörpergewicht gefolgt vom Geschlecht den größten Einfluss auf die Teilstücke *SiS* und *LAC*. Der große Einfluss des Schlachttierkörpergewichts geht mit den Ergebnissen von Latorre et al. (2004) und Fischer et al. (2006) einher. Fischer et al. (2006) beobachteten einen sukzessiven Fettansatz mit steigendem Schlachttierkörpergewicht und größeren Schlachttierkörpern, vor allem an den Teilstücken mit einem hohen Fettgewebsanteil. Unabhängig davon erscheinen schwerere Teilstücke bei schwereren/größeren Schlachttierkörpern schlüssig. Die Unterschiede zwischen den Parametern der Geschlechtergruppen sind in den niedrigeren Gewichtsklassen deutlicher als in den schwereren (Fischer et al., 2006). Zudem veranschaulichten verschiedene Untersuchungen geringere Futteraufnahmen und Tageszunahmen der Immunokastraten im Vergleich zu den chirurgischen Kastraten vor der Zweitimpfung, welche im Anschluss an diese die Werte der chirurgischen Kastraten übertrafen oder sogar die Mastleistung der chirurgischen Kastraten im Gesamtzeitraum übertroffen wurde (Claus et al., 2007; Zamaratskaia et al., 2008a; Pauly et al., 2009; Fàbrega et al., 2010;

Andersson et al., 2012; Batorek et al., 2012; Grela et al., 2013; Poulsen Nautrup et al., 2018; Kress et al., 2019). Die höhere Futteraufnahme und Tageszunahmen können durch eine restriktive Fütterung reduziert werden (Andersson et al., 2012). Durch die Zweitimpfung wird der Zeitpunkt beeinflusst, ab welchem die Immunokastraten nicht mehr als Eber betrachtet werden und sich der Physiologie, Mastleistung und den Schlachttierkörpern der chirurgischen Kastraten annähern (Dunshea et al., 2001; Claus et al., 2007; Fàbrega et al., 2010; Andersson et al., 2012; Poulsen Nautrup et al., 2018).

Da die in die Auswertung einbezogenen Teilstücke *SiS* und *LAC* am stärksten vom Schlachttierkörpergewicht beeinflusst wurden, ist ebenso von einem Einfluss auf die Teilstücke *BAC*, *SCI*, *KLT*, *SCU* und *SuS* auszugehen. Des Weiteren ist daher davon auszugehen, dass die Eingrenzung des *SKG* zwischen 75 und 130 kg anstatt 50 und 120 kg auch einen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Obwohl sich die Schlachttierkörperparameter von 2018 bis 2022 bei allen Geschlechtergruppen sukzessiv verbesserten und der Maskenwechsel das *SKG* signifikant beeinflusste, stellte das Schlachtjahr bei den meisten Parametern den geringsten (*SpM*, *RP/kg*, *MFA(B)*, *SiS*, *LAC*) Einflussfaktor dar. Vergleichsdaten fehlen, da in bisherigen Studien die Entwicklung der Schlachttierkörperparameter im Geschlechtervergleich über einen mehrjährigen Zeitraum nicht untersucht wurde. Der zweithöchste Einfluss des Schlachtjahrs auf das *SKG* könnte unter anderem durch den Wechsel der Abrechnungsmaske 2020 und die damit geänderten Anforderungen an das *SKG* sowie den zeitgleichen Beginn der COVID-Pandemie, welche zu zeitweiligen Schließungen von Schlachthöfen führte, verursacht worden sein (Hungerkamp, 2021; Niemann, 2021). Zusammenfassend deutet die Auswertung darauf hin, dass das Geschlecht und damit auch die Immunokastration den *MFA(G)* und *MFA(B)* stärker beeinflusst, hingegen einzelne Teilstücke eher durch das *SKG* beeinflusst werden können.

3. Schlachttierkörperparameter

Das *SKG* stieg bei allen Geschlechtergruppen über die Schlachtjahre hinweg an, wobei IC über den Gesamtzeitraum im Mittel das höchste *SKG*, gefolgt von GI, aufwiesen. Während die Ergebnisse mit Studien von Morgan et al. (2019) und Kress et al. (2020) übereinstimmen, zeigten Untersuchungen von Fuchs et al. (2009), Pauly et al. (2009), Poulsen Nautrup et al. (2018) und Škrlep et al. (2020) ein höheres Schlachttierkörpergewicht bei chirurgischen Kastraten. In der vorliegenden Auswertung lagen 83,46 % der IC im Optimalbereich und 5,23 % oberhalb diesem. Hingegen war der Anteil an GI und BA im Optimalbereich bei 85,5 % bzw. 86,4 % und oberhalb diesem bei 3,81 % bzw. 2,92 %. Der höhere Prozentsatz der IC oberhalb des Optimalbereichs des *SKG* könnte auf das im Mittel höchste *SKG* der IC im Gesamtstudienzeitraum, den vom Impfzeitpunkt abhängigen Schlachtzeitpunkt und den Betriebseinfluss sowie die Anpassung der Gewichtsgrenzen auf 75 kg bis 130 kg zurückzuführen sein. Das niedrigere *SKG* der EM im Vergleich zu IC wurde ebenso in anderen Studien beschrieben und ist wahrscheinlich unter anderem auf den Betriebseinfluss zurückzuführen (Fàbrega et al., 2010; Poulsen Nautrup et al., 2018; Kress et al., 2020; Škrlep et al., 2020). Detailliertere Informationen hierzu fehlen leider. In früheren, zumeist experimentellen Studien wurden betriebliche Faktoren (Impfzeitpunkt, Schlachalter, Geburts- und Absetzgewicht, Fütterung, Genetik und Haltung) in die Auswertung miteinbezogen (Fischer et al., 2006; Rehfeldt et al., 2008; Moore et al., 2017; Poulsen Nautrup et al., 2018; Morgan et al., 2019; Kress et al., 2020; Škrlep et al., 2020). Auch wurde bereits beschrieben, dass intakte Eber eine um bis zu einer Woche längere Mastdauer benötigen, um ein äquivalentes Schlachttierkörpergewicht im Vergleich zu Immunokastraten und chirurgischen Kastraten zu erreichen (Pauly et al., 2009; Kress und Verhaagh, 2019). Auch werden intakte Eber oftmals mit einem leichteren Gewicht geschlachtet, um einerseits das Risiko der Belastung des Schlachttierkörpers mit dem unerwünschten Ebergeruch, der mit zunehmendem Alter, Gewicht und Hodengröße zunimmt, zu verringern und andererseits problematisches ebertypisches Verhalten zu

vermeiden (Pauly et al., 2009; de Briyne et al., 2016; Moore et al., 2017; Zöls et al., 2020). Zudem werden intakte Eber zumeist über eine eigene Maske bewertet, welche ein niedrigeres Schlachttierkörpergewicht fordert (Niemann, 2017). In der vorliegenden Untersuchung orientierte man sich nur zur besseren Vergleichbarkeit der Geschlechtergruppen an der Standardmaske.

Die Unterschiede zwischen den Geschlechtergruppen IC, BA, und GI waren über den Studienzeitraum am geringsten und näherten sich bis 2022 weiter an. Entsprechend besteht bei Immunokastraten nach der Zweitimpfung kein Grund für eine leichtere Schlachtung äquivalent zu den intakten Ebern, da diese bis zur Schlachtung eine höhere Futteraufnahme und Tageszunahme sowie nur noch ein geringes bis kein Risiko von Ebergeruch aufweisen (Zamaratskaia et al., 2008a; Pauly et al., 2009; Andersson et al., 2012; Kress et al., 2019). Insgesamt zeigte sich, dass das SKG stärker vom Betrieb, aber auch vom Schlachtjahr beeinflusst wurde und nur in einem geringeren Maß vom Geschlecht. Entsprechend führte der Wechsel der Abrechnungsmaske im Februar 2020 und dadurch die bessere Bewertung für schwerere Schlachttierkörper ab dem Jahr 2020 in allen Geschlechtergruppen zu signifikant höheren SKG mit einem Anstieg der Teilstückgewichte.

GI und EM gefolgt von IC verzeichneten in der vorliegenden Arbeit im Mittel den höchsten *MFA(G)* und *MFA(B)*. Diese Geschlechtergruppen erreichten zu 57,93 % bis 67,98 % den Optimalbereich, wobei BA prozentual die meisten Tiere mit geringeren *MFA(B)* produzierten. Dabei lagen die Tiere aller Geschlechtergruppen in der vorliegenden Studie knapp über dem Anteil der Tiere von 56,0 %, die in einer Veröffentlichung von Westfleisch (2000) den Optimalbereich (AutoFOM I) erreichten. Zudem gleichen diese Ergebnisse denen von Zamaratskaia et al. (2008a), Fuchs et al. (2009), Pauly et al. (2009), Gispert et al. (2010) und Kress et al. (2020) sowie denen der Meta-Analysen von Batorek et al. (2012) und Poulsen Nautrup et al. (2018). Sowohl der Optimalbereich laut Abrechnungsmaske für *MFA(B)* (53 % bis 61,99 %) als auch das Klassifizierungssystem der SchwHKIV (2020) deuten darauf hin, dass neben einem homogenen Schlachttierkörper mit guten

Teilstückgewichten ein hoher Muskelfleischanteil gewünscht ist (Westfleisch, 2000; Hilgers, 2016; Ellies-Oury et al., 2020; Kress et al., 2020). Der an dieser Studie teilnehmende Schlachthof vermarktet Tiere mit einem besonders hohen Muskelfleischanteil ebenso über eine gesonderte Abrechnungsmaske. Der hohe Muskelfleischanteil ist insbesondere bei intakten Ebern sowie auch bei weiblichen Mastschweinen auf anabole Sexualhormone zurückzuführen, welche einen Einfluss auf Proteinbiosynthese und -abbau nehmen und den Proteineinbau fördern (Claus et al., 1994). Dieser Effekt entfällt bei chirurgischen Kastraten durch die Entfernung der Gonaden und das Ausbleiben der pubertären Entwicklung, wohingegen bei Immunokastraten die Produktion bis zum Zeitpunkt der zweiten Immunisierung erhalten bleibt und dadurch die Körperzusammensetzung der Tiere beeinflusst wird (Claus et al., 1994; Squires et al., 2020). Der Hormonstatus spiegelte sich auch in den Differenzen von 2018 bis 2022 wider. GI und EM, mit einem physiologischen Hormonspiegel während der gesamten Mastperiode, wiesen die geringsten Differenzen auf, während IC sich den BA annäherten und ab 2019 stets zwischen EM bzw. GI und BA lagen. Der Zeitpunkt der Zweitimpfung beeinflusst den Muskelfleischanteil der Immunokastraten, sodass frühgeimpfte Tiere einen geringeren Muskelfleischanteil als später geimpfte Tiere und intakte Eber aufweisen (Andersson et al., 2012; Zöls et al., 2020). Die Verringerung der Unterschiede über den Studienzeitraum könnte zudem auf ein verbessertes Management (Fütterung, Impfung) zurückzuführen sein (Andersson et al., 2012; Niemann, 2021). So beeinflusste das Schlachttierkörpergewicht in der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zum Geschlecht und Betrieb den *MFA(G)* und *MFA(B)* nur im geringen Maß. Im Gegensatz dazu zeigten Untersuchungen von Fischer et al. (2006) bei schweren Tieren einen vermehrten Fettansatz und niedrigeren Muskelfleischanteil, insbesondere in Teilstücken mit höherem Fettgewebsanteil, während das Geschlecht (chirurgische Kastraten und weibliche Mastschweine) lediglich bei leichteren Tieren einen größeren Einfluss zu haben schien.

Die *MuT* der IC verzeichnete über den Studienzeitraum hinweg die geringsten Unterschiede zu BA und lag im Mittel zwischen den GI mit der größten *MuT* und den EM mit den niedrigsten Werten. Fuchs et al. (2009), Fàbrega et al. (2010), Gispert et al. (2010) und Kress et al. (2020) beschrieben in ihren Studien eine größere Muskeltiefe der chirurgischen Kastraten als der Immunokastraten. So zeigt sich der sexuelle Dimorphismus intakter Eber durch eine stärker ausgeprägte Nacken- und Schulterregion aufgrund der dort vermehrt befindlichen Androgenrezeptoren und eine weniger ausgeprägte Rückenmuskulatur im Vergleich zu weiblichen Mastschweinen (Walstra, 1980; McPherson und Chenoweth, 2012; Weiler und Wesoly, 2012). Die Einordnung der *MuT* der IC lässt sich, wie bereits diskutiert, mit dem Hormonstatus der Tiere und dem sexuellen Dimorphismus erklären (Walstra, 1980; McPherson und Chenoweth, 2012; Squires et al., 2020). Hingegen hatte nach Škrlep et al. (2020) das Geschlecht keinen signifikanten Einfluss auf die Muskeltiefe. Allerdings wurde in dieser Untersuchung keine weiblichen Mastschweine einbezogen, welche in der vorliegenden Studie meistens die größten Unterschiede zu den übrigen Geschlechtern andeuteten.

Im Gegensatz zur *MuT* verfügten BA im Mittel über das höchste *SpM*, gefolgt von IC. Diese zeigten die geringsten Unterschiede sowohl zu GI als auch zu BA. Diese Ergebnisse werden durch vorangegangene Studien von de Roest et al. (2009), Fuchs et al. (2009), Pauly et al. (2009), Fàbrega et al. (2010), Kress et al. (2020), Škrlep et al. (2020) sowie den Meta-Analysen von Batorek et al. (2012) und Poulsen Nautrup et al. (2018) untermauert. Über die Schlachtjahre hinweg sank *SpM* im Mittel bei allen Geschlechtergruppen, wobei bei IC und BA die Verringerung am größten war. Das höchste *SpM* der BA und niedrigste der EM und GI lässt sich durch die An- bzw. Abwesenheit anaboler Sexualhormone erklären (Claus et al., 2007; Weiler und Wesoly, 2012). Jedoch kann das höhere Speckmaß auch durch die erhöhte Futteraufnahme der chirurgischen Kastraten und dem dadurch erhöhten Fettanteil des Schlachttierkörpers begünstigt werden (Claus et al., 1994; Latorre et al., 2004; Fischer et al., 2006; Bauer und Judas, 2014). Dieser hohe

Fettansatz kann durch eine restriktive Fütterung gemindert werden (Fischer et al., 2006; Andersson et al., 2012; Moore et al., 2017). Die Einordnung des *SpM* der IC zwischen GI und BA lässt sich, wie bereits diskutiert, mit dem Hormonstatus der Tiere erklären (Squires et al., 2020). Poulsen Nautrup et al. (2018) berichteten zudem von der Verringerung der Unterschiede des Speckmaßes zwischen Immunokastraten und chirurgischen Kastraten bei einem längeren Intervall zwischen Zweitimpfung und Schlachtung, da die immunisierten Tiere dann eine längere Zeit als Kastraten leben. Auch beugt das durch die Zweitimpfung induzierte, ruhigere Verhalten der Immunokastraten Stress und die dadurch ausgelösten hormonellen Lipo- und Proteolysen vor (Simmons et al., 1984; Nielsen et al., 2014; Škrlep et al., 2020). Da der Markt einen mageren Schlachttierkörper fordert und besser bewertet, erscheint es logisch, dass Betriebe mit Hilfe von Managementmaßnahmen (Fütterung, Impfzeitpunkt, etc., welche Informationen der Studie nicht vorliegen) versuchen, die Schlachttierkörper der Tiere entsprechend zu optimieren (Hilgers, 2016; Kress et al., 2020; SchwHKIV, 2020).

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich bei den Teilstücken mit Ausnahme von *BAC* eine ähnliche Abfolge der Geschlechtergruppen. So besaßen GI gefolgt von IC das schwerste *KLT*, *LAC*, *SCI*, *SiS*, *SUC* und *SuS*, während BA das leichteste *KLT*, *LAC*, *SiS* und *SuS* verzeichneten. Hingegen besaßen BA gefolgt von IC den schwersten *BAC*. Diese Ergebnisse wurden ebenfalls von Fischer et al. (2006), Fuchs et al. (2009), Pauly et al. (2009), Batorek et al. (2012), Poulsen Nautrup et al. (2018), Kress et al. (2020) und Škrlep et al. (2020) untermauert. Insgesamt trafen circa 80 % der Tiere aller Geschlechtergruppen das optimale *SiS*-Gewicht. Hingegen schwankte der Anteil der Tiere, welche das optimale *LAC*-Gewicht besaßen um circa 20 % und lag zwischen 57,67 % (GI) und 79,32 % (BA). 41,94 % der GI überschritten das *LAC*-Optimalgewicht während maximal 1,84 % der Geschlechtergruppen dieses unterschritten. Das höchste *BAC*-Gewicht der BA lässt sich in Zusammenhang mit dem ebenfalls höchsten *SpM* und niedrigsten *MFA(B)* der BA bringen. Die intermediären *BAC*-Gewichte der IC lassen

sich ebenfalls wieder durch die immunologische Kastration während der Mastperiode erklären (Claus et al., 2007). Bauer und Judas (2014) berichteten von einem höheren prozentualen Anteil des Bauches bei chirurgischen Kastraten als bei weiblichen Mastschweinen sowie intakten Ebern und neben dem niedrigeren Muskelfleischanteil einen gleichzeitig höheren Fettanteil des Bauches. Des Weiteren ließ sich ein Anstieg des *BAC*-Gewichts von 2019 bis 2020, welcher im Anschluss wieder sank, erkennen. Diese Beobachtung könnte in Zusammenhang mit dem erhöhten *SKG* durch den Maskenwechsel und einem dennoch verbesserten Management hin zu einem mageren Schlachttierkörper stehen. Die Teilstückgewichte von *SCI*, *SiS*, *KLT*, *LAC*, *SCU* und *SuS* nahmen bei allen Geschlechtergruppen zu. Ein stärkerer Anstieg war vor allem bei *GI* und *IC* zu erkennen. Auch dieser Anstieg lässt sich mit dem Maskenwechsel in Zusammenhang bringen, welcher einen signifikanten Einfluss auf das *SKG* nahm. Wie bereits diskutiert, ordneten sich die *IC* ab 2019 mit Ausnahme von *SCI* (2021 und 2022) auch im Jahresverlauf zwischen den *GI* mit den schwersten Teilstückgewichten und *BA* mit leichteren Teilstückgewichten ein. Sie zeigten ab 2019 auch einen geringeren Anstieg bei den für die Abrechnungsmaske relevanten Parametern (*SiS*, *LAC*, *SuS*). Der (schiere) Schinken stellt wirtschaftlich eines der wichtigsten Teilstücke dar und wird dadurch in der Abrechnungsmaske hoch bepunktet (Hilgers, 2016). Das geringere *SCI*- und *SCU*-Gewicht der *EM* und höhere *SiS* und *SuS*-Gewicht im Vergleich zu den *BA* lässt sich durch den größeren Fettanteil des *SCI* und *SCU* der *BA* und entsprechend höheren Verlusten bei der Schätzung des Schiergewichts erklären (Bauer und Judas, 2014). Hingegen besitzen *EM* laut Literatur einen höheren Knochen-, Schwarten- und Sehnenanteil (Dobrowolski et al., 1993; Bauer und Judas, 2014). Die Unterschiede von *IC* zu *EM* bei den entbeinten und abgespeckten Parametern *SiS*, *LAC* und *SuS* verringerten sich im Vergleich zu *SCI*, *KLT* und *SCU* während sich die Differenzen von *IC* zu *GI* vergrößerten. Dies lässt sich wie bei den *BA* auf einen größeren Substanzverlust bei der Schätzung der Schiergewichte zurückführen, welcher bei *IC* auch aufgrund der längeren Aufrechterhaltung der steroidalen Sexualhormone geringer ausfällt (Claus et al., 2007). Ein größeres Muskelvolumen intakter Eber wurde von

Gossenreiter (2015) beschrieben. Entgegen den Studien von Dobrowolski et al. (1993), Branscheid et al. (2011), McPherson und Chenoweth (2012) und Bauer und Judas (2014) verzeichneten intakte Eber in dieser Studie nicht die größte Muskelfülle des Schultergürtels. Es darf dennoch nicht außer Acht gelassen werden, dass in der vorliegenden Untersuchung EM das niedrigste *SKG* aufwiesen, diese unter Umständen früher geschlachtet wurden, daher auch eine geringere Verfettung aufwiesen und zudem die Teilstücke durch das Schlachttierkörpergewicht am meisten beeinflusst wurden (Latorre et al., 2004; Fischer et al., 2006; de Briyne et al., 2016).

Zwei weitere Parameter, *RP* und *RP/kg*, wurden zur Darstellung des Handelswerts des gesamten Schlachttierkörpers auf Basis der Abrechnungsmaske des Schlachthofes berechnet. Da jeder Schlachthof seine eigenen Anforderungen an die Tiere hat und dahingehend unterschiedliche Abrechnungsmasken führt (Niemann, 2017), sind die Ergebnisse der *RP* und *RP/kg* der vorliegenden Studie nur innerhalb der am Schlachthof geschlachteten Tiere, nicht aber zwischen verschiedenen Schlachthöfen vergleichbar. Im Rahmen der Studie wurden bei der Berechnung der *RP* die schlachthofspezifischen, ökonomischen Ab- und Zuschläge für das *SKG* nicht berücksichtigt. Die Betrachtung der *RP* und *RP/kg* ermöglicht im Gegensatz zu den verrechneten Teilstücken und *MFA(B)* die Betrachtung des gesamten Schlachttierkörpers. Beispielsweise verliert ein Tier mit einem hohen Muskelfleischanteil des Bauches, aber geringem Gewicht des schieren Schinkens wichtige Bewertungspunkte (*RP*) (Westfleisch, 2000; Hilgers, 2016; Frontmatec, 2020). Insgesamt spiegelten die *RP* und *RP/kg* die Tendenz der einzelnen Schlachttierkörperparameter wider. So ordnen sich IC mit den zweithöchsten *RP* und *RP/kg* im Mittel hinter GI ein, während BA und EM eine geringere Punktzahl erreichten. Lediglich EM glichen die niedrigeren *RP* durch die Korrektur mit dem *SKG* aus. Entsprechend unterschieden sich die *RP/kg* nicht-signifikant zwischen IC und EM. Allerdings muss beachtet werden, dass die als Grundlage für die Berechnung genutzte Abrechnungsmaske in der Realität nicht für EM galt, sondern diese über eine eigene Maske bewertet wurden. Daher

sollte diese Gesamtbewertung für die EM vorsichtig interpretiert werden und dient lediglich zur Orientierung.

Die Ergebnisse dieser Auswertung zeigen, dass sich die IC bei allen Parametern mit Ausnahme des SKG, an bzw. zwischen den Werten der BA und GI orientierten. Eine Tendenz der IC-Werte zur „Kontrollgruppe“ GI war bei vielen Parametern zu erkennen. Alle für die Abrechnung relevanten Parameter trafen im Mittel den Optimalbereich der Abrechnungsmaske. Die Einordnung der IC zwischen den BA und GI sind darauf zurückzuführen, dass bei den Immunokastraten bis zur Zweitimpfung die Physiologie, Mastleistung und Schlachttierkörperzusammensetzung entsprechend der intakten Eber erhalten bleiben und diese sich erst nach der immunologischen Kastration der Physiologie und dem Schlachttierkörper eines Kastraten angleichen (Claus et al., 2007; Andersson et al., 2012). Durch den Zeitpunkt der Zweitimpfung ist ebenso der Schlachttierkörper der Immunokastraten beeinflussbar (Andersson et al., 2012; Zöls et al., 2020). Betrachtet man die Einflüsse auf die Schlachttierkörperparameter, so zeigte sich, dass durch das Geschlecht der Muskelfleischanteil besser steuerbar erscheint als die Teilstücke, welche eher durch das Schlachttierkörpergewicht beeinflusst wurden. Der nach dem Geschlecht zweitgrößte Einfluss des Betriebs auf die Schlachttierkörperparameter gab Hinweise darauf, dass neben der Immunisierung der Mastschweine auch das Management im Betrieb, wie beispielsweise Impfzeitpunkt oder Fütterung berücksichtigt werden müssen (Andersson et al., 2012; Niemann, 2021). Nachdem sich über die Studienjahre hinweg die Parameter der IC, BA und GI verbesserten und sich gleichzeitig auch die Unterschiede verringerten, ist von einem Lerneffekt und einer Optimierung des Verfahrens der Immunokastration auszugehen. Da sich die IC zwischen den BA und GI eingruppierten, erscheint eine Schätzung und Abrechnung der IC mit der gleichen Formel und Abrechnungsmaske sinnvoll. Würden Immunokastraten über die Ebermaske abgerechnet, so würden diese schlechter bewertet werden, obwohl sie den intakten Ebern überlegen sind (Kress und Verhaagh, 2019).

Entsprechend stellt die Immunokastration hinsichtlich der Schlachttierkörperzusammensetzung eine tierschutzfreundliche und weitgehend schmerzfreie Alternative zur chirurgischen Kastration dar (Hay et al., 2003; Zankl et al., 2007; McGlone et al., 2016; Abendschön et al., 2020; von Borell et al., 2020). Auch die steigenden Schlachttierzahlen der IC in der vorliegenden Untersuchung im Vergleich zu den sinkenden Zahlen der BA und EM deuten auf die Rentabilität und Sicherheit der Immunokastration hin (Dunshea et al., 2001; de Roest et al., 2009; Verhaagh und Deblitz, 2019). Dies ging auch mit Studien von de Roest et al. (2009) und Verhaagh und Deblitz (2019) einher, welche die Immunokastration als eine wirtschaftlichere Produktionsvariante gegenüber der chirurgischen Kastration unter Inhalations-/Injektions- oder Lokalanästhesie und der Ebermast bewerteten. Eine positive Entwicklung stellt auch ein steigender Absatzmarkt der Immunokastraten dar, da jüngere Verbraucher, die zunehmend Wert auf Tierschutz legen, diese Variante bei Bewusstsein über die ausreichende Lebensmittelsicherheit und Lebensmittelqualität den anderen Produktionsweisen vorziehen (di Pasquale et al., 2020). Die Ergebnisse dieser Arbeit in Bezug auf die Schlachttierkörperparameter spiegeln sich in Ergebnissen des „100.000 Improvac®-Tiere“ Projekts von Niemann (2021) wider und stehen im Einklang mit den Kernergebnissen der „Kieler Erklärung“ (Krieter et al., 2023). Die Aspekte des Tierwohls, Wirtschaftlichkeit, Verbraucherakzeptanz und die in der vorliegenden Studie analysierten Schlachttierkörperparameter zusammenfassend, erscheint die Immunokastration als eine nachhaltige und zukunftsfähige Lösung der Kastrationskontroverse und sollte durch eine gerechte Abrechnung der Immunokastraten über die Standardmaske der BA und GI gefördert werden.

4. Limitierungen

Zu den Limitierungen dieser Arbeit zählten zum einen die fehlenden Informationen zu Schlachalter, Impfzeitpunkt, genauer Genetik, Fütterung und Haltung, welche zusätzliche Informationen zu den Einflüssen hätten liefern können und eine bessere Vergleichbarkeit mit Ergebnissen aus der Literatur ermöglicht hätten. Des Weiteren kann eine

in Einzelfällen falsche Zuordnung der Tiere durch den Schlachthof nicht ausgeschlossen werden, was aber bei der hohen Anzahl von Tieren vernachlässigt werden kann. Ebenso verzerrten die geringen Schlachtzahlen der IC und EM 2018 bzw. 2021/2022 aus 2 bzw. 27/6 Betrieben die Ergebnisse. Weitere Analysen im Hinblick auf die Ökonomie unter Einbeziehung der Zu- und Abschläge für das *SKG* in der Abrechnungsmaske sowie umfassende gewebliche Zerlegungen und Untersuchungen der Fleischqualität der Immunokastraten existieren und erscheinen in diesem Zusammenhang interessant.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss der immunologischen Kastration männlicher Mastschweine (IC) mit der GnRH-Vakzine Improvac® (Fa. Zoetis Belgium SA, Louvain-la-Neuve, Belgien) auf die Schlachttierkörperzusammensetzung zu untersuchen und mit chirurgischen Kastraten (BA), intakten Ebern (EM) und weiblichen Mastschweinen (GI) zu vergleichen. Im Zuge dessen wurden Einflussfaktoren (Geschlecht, Betrieb, Schlachtzeitraum, Schlachttierkörpergewicht) auf die Schlachttierkörperparameter der vier Geschlechtergruppen bewertet sowie die Entwicklung der Schlachttierkörperparameter im Geschlechtervergleich über den Zeitraum von fünf Jahren (2018 bis 2022) dargestellt.

Zu diesem Zweck wurden mit dem AutoFOM III™ Klassifizierungssystem (Frontmatec Group, Kloding, Dänemark) eines nordwestdeutschen Schlachthofes von 2018 bis 2022 Schlachttierkörperparameter im täglichen Schlachtbetrieb erhoben und retrospektiv ausgewertet. Jedem Tier wurden Schlachtdatum, Schlacht- und Klassifizierungsnummer, Schlagstempelkennzeichnung, Herkunftsbetrieb und Geschlecht (männlich bzw. weiblich) zugeordnet. Geimpfte Tiere und intakte Eber wurden zudem durch einen Buchstaben am Ende der Schlagstempelkennzeichnung gekennzeichnet, auf dem im Anschluss die Zuweisung zu den neucodierten Geschlechtergruppen IC, BA, EM und GI basierte. Die Schlachtdaten in fünf Microsoft® Excel Tabellen wurden zur statistischen Auswertung aufbereitet und im Anschluss statistisch mit dem Statistikprogramm „R“ ausgewertet. Um eine Verfälschung oder Verzerrung der Antworten auf die konkrete Fragestellung zu vermeiden, wurden 123.024 Tiere anhand von vordefinierter Ausschlusskriterien aus dem ursprünglichen Datensatz mit 1.736.684 Schweinen aus 203 Betrieben verblindet ausgeschlossen. Entsprechend flossen 1.613.660 Tiere aus 182 Betrieben in die statistische Datenanalyse ein. Folgende, mit AutoFOM III™ erfasste und anhand der Abrechnungsmaske des Schlachthofes berechnete Parameter wurden erhoben: Schlachttierkörpergewicht (SKG), Muskelfleischanteil des Gesamtkörpers

(*MFA(G)*), Muskelfleischanteil des Bauches (*MFA(B)*), Muskeltiefe (*MuT*), Speckmaß (*SpM*), Bauch (*BAC*), Schinken (*SCI*), Schinken schier (*SiS*), Kotelett (*KLT*), Lachs (*LAC*), Schulter (*SCU*), Schulter schier (*SuS*), *RP* und *RP/kg*.

Die Geschlechtergruppen setzten sich aus 26,9 % IC, 22,7 % BA, 45,5 % GI und 1,4 % EM zusammen. Während die Schlachtzahlen der GI von 2018 bis 2022 konstant blieben, nahmen die Schlachtzahlen der IC über den Studienzeitraum hinweg zu und die der BA im Gegenzug ab. EM blieben bei konstant niedrigen Schlachtzahlen, wurden aber der Vollständigkeit halber mit ausgewertet. IC verzeichneten gefolgt von GI und BA das höchste *SKG*, welches auch durch einen Wechsel der Abrechnungsmaske 2020 bei allen Geschlechtern signifikant beeinflusst wurde. EM und GI verzeichneten einen höheren *MFA(G)* und *MFA(B)* als IC, BA den niedrigsten. IC besaßen nach GI die zweithöchste *MuT* und nach BA das zweithöchste *SpM*. In Bezug auf die Teilstückgewichte *SCI*, *SiS*, *KLT*, *LAC*, *SCU* und *SuS* produzierten IC nach GI die zweithöchsten Gewichte. BA verzeichneten gefolgt von IC den schwersten *BAC*, GI den leichtesten. Die meisten *RP* und *RP/kg* sammelten die GI, gefolgt von den IC. BA sammelten die wenigsten *RP/kg*, EM die wenigsten *RP*. Das Geschlecht nahm, gefolgt vom Betrieb, den größten Einfluss auf *MFA(G)*, *MFA(B)*, *SpM* und *RP/kg*. Das *SKG* wurde am stärksten durch den Betrieb, gefolgt vom Schlachtjahr und die Teilstücke *SiS* und *LAC* am stärksten durch das Schlachttierkörpergewicht beeinflusst. Insgesamt verbesserten sich die erhobenen Parameter über den Studienzeitraum hinweg in allen Geschlechtergruppen. Zudem nahmen die Differenzen zwischen den Geschlechtergruppen bei allen Parametern über den Untersuchungszeitraum hinweg ab. IC befanden sich ab 2019 über den Studienzeitraum hinweg bei allen Parametern, außer dem *SKG*, zwischen den GI und BA.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass sich die IC bei allen Parametern mit Ausnahme des *SKG*, welches unter dem größten Einfluss des Betriebs stand, zwischen den Werten der BA und GI orientierten. Im Mittel trafen alle ausgewerteten Parameter den Optimalbereich der Abrechnungsmaske des Schlachthofes. Betrachtet man die Einflüsse auf

die Schlachttierkörperparameter, so ist zu erkennen, dass durch das Geschlecht der Muskelfleischanteil steuerbarer erscheint als die einzelnen Teilstücke, welche vermehrt vom Schlachttierkörpergewicht beeinflusst wurden. Der nach dem Geschlecht zweitstärkste Einfluss des Betriebes auf die Schlachttierkörperparameter weist darauf hin, dass neben dem Geschlecht und der Immunisierung der männlichen Mastschweine auch der Einfluss des Betriebs nicht vernachlässigt werden darf. Da sich die Parameter der IC, BA und GI über die Studienjahre verbesserten und gleichzeitig die Differenzen abnahmen, kann von einem Lerneffekt und einer Optimierung des Verfahrens der Immunokastration ausgegangen werden. Da die IC zwischen BA und GI lagen und in den untersuchten Parametern den beiden Geschlechtergruppen nicht unterlagen, erscheint eine Schätzung und Abrechnung der IC mit der gleichen Formel und Abrechnungsmaske als möglich und gerecht.

VII. SUMMARY

The aim of this study was to investigate the influence of immunological castration of male fattening pigs (IC) with the GnRH vaccine Improvac® (Zoetis Belgium SA, Louvain-la-Neuve, Belgium) on carcass composition and to compare it with surgically castrates (BA), intact boars (EM) and female fattening pigs (GI). The influencing factors (sex, farm, slaughter date, hot carcass weight) on the carcass parameters of the four sex groups were evaluated and the development of the carcass parameters in the sex comparison over a five-year period (2018 to 2022) was presented.

For this purpose, the AutoFOM III™ classification system (Frontmatec Group, Kloding, Denmark) of a slaughterhouse in north-western Germany was used to collect and retrospectively analyse carcass parameters during daily slaughter operations from 2018 to 2022. Each animal was characterised by the assigned slaughter date, slaughter and classification number, stamp identification, farm number and sex, male or female. Vaccinated animals and intact boars were also labeled by a letter at the end of the stamp identification, which was subsequently used to assign the animals to the recoded new sex groups IC, BA, EM and GI. The slaughter data in five Microsoft® Excel spreadsheets were prepared for statistical analysis and then statistically analysed using the statistical program 'R'. 123,024 animals were excluded from the original data set of 1,736,684 pigs from 203 farms in a blinded manner using pre-defined exclusion criteria in order to avoid falsification or bias of the responses to the specific question. Subsequently, 1,613,660 animals from 182 farms were included in the statistical data analysis. The following parameters were recorded with AutoFOM III™ and calculated using the slaughterhouse's accounting mask: hot carcass weight (*SKG*), lean meat content (*MFA(G)*), belly lean meat content (*MFA(B)*), muscle thickness (*MuT*), fat thickness (*SpM*), belly (*BAC*), ham with bones (*SCI*), lean and boneless ham (*SiS*), loin with bones (*KLT*), lean and boneless loin (*LAC*), shoulder with bones (*SCU*), lean and boneless shoulder (*SuS*), *RP* and *RP/kg*.

The sex groups consisted of 26.9 % IC, 22.7 % BA, 45.5 % GI and 1.4 % EM. While the slaughter numbers for GI remained constant from 2018 to 2022, IC increased over the study period, while BA decreased. EM consistently had the lowest slaughter numbers but were analysed for the sake of completeness. IC, followed by GI and BA, recorded the highest *SKG*, which was also significantly influenced by a change of the accounting mask in 2020 for all sex groups. EM and GI had a higher *MFA(G)* and *MFA(B)* than IC, while BA had the lowest. IC had the second highest *MuT* after GI and the second highest *SpM* after BA. In terms of the *SCI*, *SiS*, *KLT*, *LAC*, *SCU* and *SuS* weights, IC produced the second highest weights after GI. BA, followed by IC, had the heaviest *BAC*, GI the lightest. GI collected the most *RP* and *RP/kg*, followed by IC. BA collected the least *RP/kg*, EM the least *RP*. Sex, followed by farm, had the greatest influence on *MFA(G)*, *MFA(B)*, *SpM* and *RP/kg*. The *SKG* was most strongly influenced by the farm, followed by the year of slaughter, and the *SiS* and *LAC* cuts by the hot carcass weight. Overall, the recorded parameters improved during the study period in all four sex groups. In addition, the differences of the sex groups between the parameters decreased over the study period. IC were between the GI and BA for all parameters except *SKG* throughout the study period from 2019 onwards.

The results of this work showed that for all parameters, except *SKG*, which was most influenced by farm, the IC between the values of BA and GI, with which they were also calculated using the same accounting mask. On average, all the parameters analysed corresponded to the optimum of the abattoir's accounting mask. Looking at the influences on the carcass parameters, it can be seen that the lean meat content appears to be more controllable by sex than the primal pork cuts, which are increasingly influenced by hot carcass weight. The second strongest influence of the farm on the carcass parameters after sex (the strongest for *SKG*) indicates that, in addition to the sex and immunisation of the fattening pigs, farm management, such as vaccination timing or feeding, should not be neglected. As the IC, BA and GI parameters improved over the study years and the differences decreased at the same time, it can be assumed that a learning effect and an optimisation of the

immunocastration procedure took place. As the IC ranked between BA and GI and there was no difference between the two sex groups in the analyzed parameters, it seems feasible and legitimate to estimate and calculate the IC using the same formula and accounting mask.

VIII. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Definition und Kodierung der analysierten Geschlechtergruppen	32
Tabelle 2: Mit AutoFOM III™ erfasste Schlachttierkörperparameter und Teilstücke sowie deren Einheit.....	33
Tabelle 3: Neunstufiges Ausschlussverfahren: Ausschlussgründe, Definitionen und Anzahl der ausgeschlossenen Individuen und Betriebe	36
Tabelle 4: Anzahl (n) geschlachteter Mastschweine sowie Gesamtzahl liefernder Betriebe und durchschnittlich gelieferte Tiere pro Betrieb (Mittelwert, Median) aufgeteilt nach Geschlecht und Jahr.....	41
Tabelle 5: Schlachttierkörpercharakteristika und -teilstücke (AutoFOM III™) aufgeteilt nach Geschlecht.....	45
Tabelle 6: Prozentsatz der Schlachttierkörper, die das Optimum der Abrechnungsmaske treffen sowie darüber und darunter liegen aufgeteilt nach Geschlecht	46
Tabelle 7: Im Schlachthof Heinz Tummel GmbH & Co. KG (Schöppingen, Deutschland) mittels AutoFOM III™ erfasste Schlachttierkörperparameter der IC, GI, BA und EM im Zeitraum von 2018 bis 2022 dargestellt als emmeans ± SD	115

IX. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Standardabrechnungsmaske des Schlachthofes Heinz Tummel GmbH & Co. KG, Schöppingen, Deutschland	35
Abbildung 2: Box-Violin-Plot von MFA(G) (2A) und MFA(B) (2C) in % aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr (Optimalbereich grau hinterlegt); Vergleich der Differenzen (%) von MFA(G) (2B) und MFA(B) (2D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)	48
Abbildung 3: Box-Violin-Plot von <i>MuT</i> (3A) und <i>SpM</i> (3C) in mm aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr; Vergleich der Differenzen (mm) von <i>MuT</i> (3B) und <i>SpM</i> (3D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)	50
Abbildung 4: Box-Violin-Plot von <i>SKG</i> (4A) und <i>BAC</i> (4C) in kg aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr (Optimalbereich grau hinterlegt); Vergleich der Differenzen (kg) von <i>SKG</i> (4B) und <i>BAC</i> (4D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)	52
Abbildung 5: Box-Violin-Plot von <i>SCI</i> (5A) und <i>SiS</i> (5C) in kg aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr (Optimalbereich grau hinterlegt); Vergleich der Differenzen (kg) von <i>SCI</i> (5B) und <i>SiS</i> (5D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)	54
Abbildung 6: Box-Violin-Plot von <i>KLT</i> (6A) und <i>LAC</i> (6C) in kg aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr (Optimalbereich grau hinterlegt); Vergleich der Differenzen (kg) von <i>KLT</i> (6B) und <i>LAC</i> (6D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)	56
Abbildung 7: Box-Violin-Plot von <i>SCU</i> (7A) und <i>SuS</i> (7C) in kg aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr; Vergleich der Differenzen	

(kg) von <i>SCU</i> (7B) und <i>SuS</i> (7D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)	58
Abbildung 8: Box-Violin-Plot von <i>RP</i> (8A) und <i>RP/kg</i> (8C) aufgeteilt nach Geschlechtergruppen und Schlachtjahr; Vergleich der Differenzen von <i>RP</i> (8B) und <i>RP/kg</i> (8D) zwischen den Geschlechtergruppen aufgeteilt nach Schlachtjahr (nicht-signifikante Unterschiede zwischen Geschlechtergruppen verblasst)	60
Abbildung 9: Prädiktorengröße (Variable Importance) der Schlachttierkörperparameter für die Geschlechtergruppen nach der Random Forest Klassifikation, gemessen an Mean Decrease in Accuracy	61
Abbildung 10: Höhe des Einflusses von Geschlecht, Betrieb, Zeit und Schlachttierkörpergewicht auf die Schlachttierkörperparameter	62

X. LITERATURVERZEICHNIS

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

Aluwé M, Heyrman E, Almeida JM, Babol J, Battacone G, Citek J, Font IFM, Getya A, Karolyi D, Kostyra E, Kress K, Kusec G, Morlein D, Semenova A, Škrlep M, Stoyanchev T, Tomašević I, Tudoreanu L, Van Son M, Zakowska-Biemans S, Zamaratskaia G, Van den Broeke A, Egea M (2020). Exploratory survey on European consumer and stakeholder attitudes towards alternatives for surgical castration of piglets. *Animals*, 10 (10): 1758.

Ammer H, Potschka H (2016). Pharmakologie des zentralen Nervensystems (ZNS). In: *Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin*. 4. Auflage; Löscher W, Richter A (Hrsg.); Stuttgart, Enke Verlag: 125-79.

Andersson K, Brunius C, Zamaratskaia G, Lundström K (2012). Early vaccination with Improvac®: effects on performance and behaviour of male pigs. *Animal*, 6 (1): 87-95.

AVV LmH (2022). 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 (AVV Lebensmittelhygiene - AVV LmH).

Ayalew G (2019). A review on the effect of immunocastration against gonadal physiology and boar taint. *Biomedicine and nursing*, 5: 26-40.

Babol J, Squires EJ (1995). Quality of meat from entire male pigs. Food research international, 28 (3): 201-12.

Backus G, Higuera M, Juul N, Nalon E, de Briyne N (2018). Second Progress Report 2015 - 2017 on the European Declaration on Alternatives to Surgical Castration of Pigs. <https://www.boarsontheway.com/wp-content/uploads/2018/08/Second-progress-report-2015-2017-final-1.pdf>. accessed: 05.03.2024.

Baldinger L, Traulsen I, Weißmann F, Krieter J, Bussemas R (2017). Vergleich der Injektions- und Inhalationsnarkose zur Kastration von ökologisch aufgezogenen Ferkeln hinsichtlich Verhalten und Wachstum. Landbauforschung, 67: 71-8.

Barton-Gade PA (1987). Meat and fat quality in boars, castrates and gilts. Livestock production science, 16 (2): 187-96.

Batorek N, Čandek-Potokar M, Bonneau M, Van Milgen J (2012). Meta-analysis of the effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint compounds in pigs. Animal, 6 (8): 1330-8.

Bauer A, Judas M (2014). Schlachtkörperqualität von Mastebnern in Vergleich zu Sauen und Börgen. Züchtungskunde, 86: 374-89.

Baumgartner J, Binder R, Hagmuller W, Hofbauer P, Iben C, Scala US, Winckler C (2004). Aktuelle Aspekte der Kastration männlicher Ferkel - 2. Mitteilung: Alternativmethoden zur chirurgischen Kastration und zusammenfassende Bewertung. Wiener tierärztliche Monatsschrift, 91: 198-209.

Bergsma R, Knol E, Feitsma H (2007). Parameters of AI boars and predicted correlated responses of selection against boar taint. 58th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Dublin, 26.-29.08.2007, 273.

BLE (2020). Feldstudie zur Impfung gegen Ebergeruch. Wissenschaftliche Begleitung des 100.000 Eber Projektes zur Evaluierung der Immunokastration als Alternative zur betäubungslosen Ferkelkastration (FINGER) - Teilprojekt 2. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.). Bonn, https://service.ble.de/ptdb/index2.php?detail_id=30588602&site_key=141&tKat=6004&sLfd=laufend&zeilenzahl_zaeher=81. accessed: 24.01.2024.

BLE (2023). Bericht zur Markt- und Versorgungslage mit Fleisch 2023. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hrsg.); https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/_inhalt.html#_8uvqzc5lq. accessed: 04.03.2024.

Bonneau M (1998). Use of entire males for pig meat in the European Union. Meat science, 49: 257-72.

Boschert K, Flecknell PA, Fosse RT, Framstad T, Ganter M, Sjöstrand U, Stevens J, Thurmon J (1996). Ketamine and its use in the pig: Recommendations of the Consensus Meeting on Ketamine Anaesthesia in Pigs, Bergen 1994. Ketamine Consensus Working Group. Laboratory animals, 30 (3): 209-19.

Branscheid W, Judas M, Höreth R (2011). Zur Klassifizierung von Schweinehälften: Neue Schätzformeln und neue Geräte. Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach, 4: 106-11.

Breustedt-Muschalla S (2021). Mehr als 100.000 gegen Geruch geimpfte Eber überzeugen. <https://landvolk.net/lpdartikel/mehr-als-100-000-gegen-geruch-geimpfte-eber-ueberzeugen/>. accessed: 14.03.2024.

Brøndum J, Egebo M, Agerskov C, Busk H (1998). On-line pork carcass grading with the Autofom ultrasound system. *Journal of animal science*, 76 (7): 1859-68.

Brunius C, Zamaratskaia G, Andersson K, Chen G, Norrby M, Madej A, Lundström K (2011). Early immunocastration of male pigs with Improvac® – Effect on boar taint, hormones and reproductive organs. *Vaccine*, 29 (51): 9514-20.

Bünger B, Zacharias B, Schrade H (2014). Verhaltensunterschiede bei der Mast von Ebern im Vergleich zu Kastraten und weiblichen Tieren sowie gemischtgeschlechtlichen Gruppen bei unterschiedlichen Haltungs- und Fütterungsbedingungen. *Züchtungskunde*, 86 (5/6): 358-73.

Čandek-Potokar M, Škrlep M, Kostyra E, Żakowska-Biemans S, Poklugar K, Batorek-Lukač N, Kress K, Weiler U, Stefanski V (2020). Quality of dry-cured ham from entire, surgically and immunocastrated males: Case study on Kraški Pršut. *Animals*, 10 (2): 239.

Clarke I, Walker J, Hennessy D, Kreeger J, Nappier J, Crane J (2008). 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*, 6 (1): 7-14.

Claus R (1975). Messung des Ebergeruchstoffes im Fett von Schweinen mittels eines Radioimmunotests 1: 1. Mitteilung: Geruchsdepotbildung in Abhängigkeit vom Alter. *Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie*, 92 (1-4): 118-26.

Claus R, Weiler U, Herzog A (1994). Physiological aspects of androstenedione and skatole formation in the boar – A review with experimental data. *Meat science*, 38 (2): 289-305.

Claus R, Lacorn M, Danowski K, Pearce MC, Bauer A (2007). Short-term endocrine and metabolic reactions before and after second immunization against GnRH in boars. *Vaccine*, 25 (24): 4689-96.

Čobanović N, Stajković S, Blagojević B, Betić N, Dimitrijević M, Vasilev D, Karabasil N (2020). The effects of season on health, welfare, and carcass and meat quality of slaughter pigs. *International journal of biometeorology*, 64: 1899-909.

Danish Agriculture & Food Council (2023). DANISH Product Standard. Danish Agriculture & Food Council (Hrsg.). accessed: 23.07.2023.

de Briyne N, Berg C, Blaha T, Temple D (2016). Pig castration: will the EU manage to ban pig castration by 2018? *Porcine health management*, 2 (1): 29.

de Roest K, Montanari C, Fowler T, Baltussen W (2009). Resource efficiency and economic implications of alternatives to surgical castration without anaesthesia. *Animal*, 3 (11): 1522-31.

Deutscher Bundestag (2018). Betäubungsloses Kastrieren männlicher Ferkel noch zwei Jahre zulässig. <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2018/kw48-de-tierschutzgesetz-580094>. accessed: 06.03.2024.

di Pasquale J, Vecchio Y, Martelli G, Sardi L, Adinolfi F, Nannoni E (2020). Health risk perception, consumption intention, and willingness to pay for pig products obtained by immunocastration. *Animals*, 10 (9): 1548.

Dobrowolski A, Höreth R, Branscheid W (1993). Der Schlachtkörperwert von Ebern und Börgen und Probleme der Klassifizierung. Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach: 109.

Dunshea FR, Colantoni C, Howard K, McCauley I, Jackson P, Long KA, Lopaticki S, Nugent EA, Simons JA, Walker J, Hennessy DP (2001). Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac®) eliminates boar taint and increases growth performance. Journal of animal science, 79 (10): 2524-35.

Durchführungsbeschluss 2011/258/EU (2011). Durchführungsbeschluss der Kommission vom 27. April 2011 zur Änderung der Entscheidung 89/471/EWG zur Zulassung von Verfahren der Einstufung von Schweineschlachtkörpern in Deutschland (2011/258/EU).

Durchführungsverordnung (EU) 2019/627 (2019). Durchführungsverordnung (EU) 2019/627 der Kommission vom 15. März 2019 zur Festlegung einheitlicher praktischer Modalitäten für die Durchführung der amtlichen Kontrollen in Bezug auf für den menschlichen Verzehr bestimmte Erzeugnisse tierischen Ursprungs gemäß der Verordnung (EU) 2017/625 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2074/2005 der Kommission in Bezug auf amtliche Kontrollen.

EFSA (2004). Scientific Report of the Scientific Panel for Animal Health and Welfare on a Request from the Commission Related to Welfare Aspects of the Castration of Piglets. EFSA journal / European Food Safety Authority, 2 (7): 91.

Eger EI, Johnson BH, Weiskopf RB, Holmes MA, Yasuda N, Targ A, Rampil IJ (1988). Minimum alveolar concentration of I-653 and isoflurane in pigs: definition of a supramaximal stimulus. Anesthesia and analgesia, 67 (12): 1174-6.

Einarsson S, Andersson K, Wallgren M, Lundström K, Rodriguez-Martinez H (2009). 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*, 71 (2): 302-10.

Einarsson S, Brunius C, Wallgren M, Lundström K, Andersson K, Zamaratskaia G, Rodriguez-Martinez H (2011). Effects of early vaccination with Improvac® on the development and function of reproductive organs of male pigs. *Animal reproduction science*, 127 (1-2): 50-5.

Ellies-Oury M-P, Hocquette J-F, Chriki S, Conanec A, Farmer L, Chavent M, Saracco J (2020). Various statistical approaches to assess and predict carcass and meat quality traits. *Foods*, 9 (4): 525.

EMA (2009). Improvac® (Gonadotropin releasing factor (GnRF)-Analogon, mit Trägerprotein konjugiert, Übersicht über Improvac und Gründe für die Zulassung in der EU. European Medicines Agency (Hrsg.); https://www.ema.europa.eu/en/documents/overview/improvac-epar-summary-public_de.pdf. accessed: 02.08.2022.

EMA (2012). Scientific Discussion (Improvac®). European Medicines Agency (Hrsg.). accessed: 06.03.2024.

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

Fàbrega E, Velarde A, Cros J, Gispert M, Suárez P, Tibau JB, Soler J (2010). Effect of vaccination against gonadotrophin-releasing hormone, using Improvac®, on growth performance, body composition, behaviour and acute phase proteins. *Livestock science*, 132 (1-3): 53-9.

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

Fischer J, Elsinghorst PW, Bücking M, Tholen E, Petersen B, Wüst M (2011). Development of a candidate reference method for the simultaneous quantitation of the boar taint compounds androstenone, 3 α -androstenol, 3 β -androstenol, skatole, and indole in pig fat by means of stable isotope dilution analysis–headspace solid-phase microextraction–gas chromatography/mass spectrometry. *Analytical chemistry*, 83 (17): 6785-91.

Fischer K, Lindner JP, Judas M, Höreth R (2006). Schlachtkörperzusammensetzung und Gewebebeschaffenheit von schweren Schweinen – I. Mitteilung: Material und Methoden, Mastleistung, Schlachtkörperzusammensetzung und Teilstückanteile. *Archives animal breeding*, 49 (3): 269-78.

Fleischgesetz-Durchführungsverordnung (2022). 1. Fleischgesetz-Durchführungsverordnung vom 12. November 2008 (BGBl. I S. 2186), die zuletzt durch Artikel 7 der Verordnung vom 10. März 2022 (BGBl. I S. 428) geändert worden ist.

Fortin A, Wood JD, Whelehan OP (1987). Breed and sex effects on the development and proportions of muscle, fat and bone in pigs. *The Journal of agricultural science*, 108 (1): 39-45.

Frieden L, Neuhoﬀ C, Große-Brinkhaus C, Cinar MU, Schellander K, Looft C, Tholen E (2012). Züchterische Möglichkeiten zur Verminderung der Ebergeruchsproblematik bei Schlachtschweinen. *Züchtungskunde*, 84 (5): 394-411.

Frieden L, Große-Brinkhaus C, Neuhoﬀ C, Schellander K, Looft C, Tholen E (2014). 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*, 86 (5-6): 297-318.

Frontmatec (2020). Fully Automatic Ultrasonic Carcass Grading AutoFom III™. https://www.frontmatec.com/media/4966/frontmatec-instruments-autofom-_application-note_v1-0-2020_web.pdf. accessed: 06.03.2024.

Fuchs T, Nathues H, Koehrmann A, Andrews S, Brock F, Sudhaus N, Klein G, grosse Beilage E (2009). A comparison of the carcass characteristics of pigs immunized with a 'gonadotrophin-releasing factor (GnRF)' vaccine against boar taint with physically castrated pigs. *Meat science*, 83 (4): 702-5.

Giersing M, Lundström K, Andersson A (2000). Social effects and boar taint: significance for production of slaughter boars (*Sus scrofa*). *Journal of animal science*, 78 (2): 296-305.

Gispert M, Oliver MÀ, Velarde A, Suarez P, Pérez J, i Furnols MF (2010). Carcass and meat quality characteristics of immunocastrated male, surgically castrated male, entire male and female pigs. *Meat science*, 85 (4): 664-70.

Glodek P, Kratz R, Schulz E, Flachowsky G (2004). Der Einfluss unterschiedlicher Vatterassen in praxisüblichen Schweinekreuzungen auf deren Ansatzleistung, Schlachtkörperzusammensetzung sowie Fleisch- und Fettbeschaffenheit. *Archives animal breeding*, 47 (1): 59-74.

Good IJ (1988). The interface between statistics and philosophy of science. *Statistical science*, 3 (4): 386-97.

Gossenreiter F (2015). Vergleich der Schlachtkörperzusammensetzung zwischen Ebern, Kastraten und Immunokastraten mittels Magnetresonanztomographie und Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie. Diss. med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität München.

Grela ER, Kowalczyk-Vasilev E, Klebaniuk R (2013). Performance, pork quality and fatty acid composition of entire males, surgically castrated or immunocastrated males, and female pigs reared under organic system. *Polish journal of veterinary sciences*, 16 (1): 107-14.

Hansen LL, Larsen AE, Jensen BB, Hansen-Møller J, Barton-Gade P (1994). Influence of stocking rate and faeces deposition in the pen at different temperatures on skatole concentration (boar taint) in subcutaneous fat. *Animal production*, 59 (1): 99-110.

Hanus JT (2023). Untersuchung zur Optimierung der automatisierten Isoflurannarkose für die Ferkelkastration mit den Narkosegeräten Piglet Snoozer, MS Pigsleeper Flexy und PorcAnest 3000. Diss. med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität München.

Härtel H, Gumbert S, Rauh A, Beisl M, Schulz J, Kempf K, Senf S, Winner E, Weiß C, Nüßlein A, Zablotzki Y, Ritzmann M, Zöls S (2021). Untersuchungen zur automatisierten Isoflurannarkose bei der Saugferkelkastration. *Tierärztliche Praxis Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere*, 49 (03): 167-77.

Hay M, Vulin A, Génin S, Sales P, Prunier A (2003). Assessment of pain induced by castration in piglets: behavioral and physiological responses over the subsequent 5 days. *Applied animal behaviour science*, 82 (3): 201-18.

Heinritzi K (2006). Zootechnische Maßnahmen: Saugferkelkastration. In: *Schweinekrankheiten*; Heinritzi K, Gindele HR, Reiner G, Schnurrbusch U (Hrsg.); Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag: 42-3.

Heyrman E, Kowalski E, Millet S, Tuytens FAM, Ampe B, Janssens S, Buys N, Wauters J, Vanhaecke L, Aluwé M (2019). Monitoring of behavior, sex hormones and boar taint compounds during the vaccination program for immunocastration in three sire lines. *Research in veterinary science*, 124: 293-302.

Hilgers J (2016). Wie kann der Schlachtkörper optimiert werden? https://viehvermarktung-online.de/Downloads/LZ_13_2016_S38_S43.pdf. accessed: 06.03.2024.

Holinger M, Früh B, Hillmann E (2015). Group composition for fattening entire male pigs under enriched housing conditions – Influences on behaviour, injuries and boar taint compounds. *Applied animal behaviour science*, 165: 47-56.

Höreth R (2013a). AutoFOM I und AutoFOM III im Praxisvergleich. *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach* 202: 221-31.

Höreth R (2013b). Zur Prüfung des Klassifizierungsgeräts AutoFOM III. *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach* 201: 175-8.

Höreth R, Adam F (2014). Was ändert sich durch Autofom III? *Landwirtschaftliches Wochenblatt*: 42-5.

Hungerkamp M (2021). Schweinestau: Retrospektive und Ausblick. <https://www.agrarheute.com/tier/schwein/schweinestau-retrospektive-ausblick-579163>. accessed: 05.03.2024.

IFA (2022). GESTIS-Stoffdatenbank Isofluran. <https://gestis.dguv.de/data?name=135922>. accessed: 24.01.2024.

Imhäuser R, Quaing M (2016). Das 1x1 der Klassifizierung. <https://www.topagrar.com/schwein/aus-dem-heft/das-1x1-der-klassifizierung-9648641.html>. accessed: 05.03.2024.

Jaros P, Bürgi E, Stärk KDC, Claus R, Hennessy D, Thun R (2005). Effect of active immunization against GnRH on androstenone concentration, growth performance and carcass quality in intact male pigs. *Livestock production science*, 92 (1): 31-8.

Judas M, Branscheid W, Höreth R (2012). Neue Ergebnisse zur Variabilität der Gewebeanteile beim Schwein. *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach*, 51 (195): 1-16.

Judas M, Höreth R (2015). Der Muskelfleischanteil von Schweineschlachtkörpern: Historische Entwicklung und aktueller Stand der Referenzmethode. *Mitteilungsblatt Fleischforschung Kulmbach*, 54 (209): 127-37.

Kluivers-Poodt M, Houx BB, Robben SRM, Koop G, Lambooij E, Hellebrekers LJ (2012). Effects of a local anaesthetic and NSAID in castration of piglets, on the acute pain responses, growth and mortality. *Animal*, 6 (9): 1469-75.

Kowalski E, Vossen E, Millet S, Ampe B, De Smet S, Aluwé M (2021). Effect of terminal sire line and timing second vaccination on effectiveness of immunocastration, performance, and carcass and meat quality. *Meat science*, 175: 108451.

Kress K, Weiler U, Schmucker S, Čandek-Potokar M, Vrecl M, Fazarinc G, Škrlep M, Batorek-Lukač N, Stefanski V (2019). Influence of housing conditions on reliability of immunocastration and consequences for growth performance of male pigs. *Animals*, 10 (1): 27.

Kress K, Verhaagh M (2019). The economic impact of German pig carcass pricing systems and risk scenarios for boar taint on the profitability of pork production with immunocastrates and boars. *Agriculture*, 9 (9): 204.

Kress K, Hartung J, Jasny J, Stefanski V, Weiler U (2020). Carcass characteristics and primal pork cuts of gilts, boars, immunocastrates and barrows using AutoFOM III data of a commercial abattoir. *Animals*, 10 (10): 1912.

Krieter J, Mörlein D, Pritschau D, Spieker C, Erdmann S, Tummel R (2023). Kieler Erklärung zur Immunkastration als Alternative zur chirurgischen Ferkelkastration. Krieter J, Mörlein D, Pritschau D, Spieker C, Erdmann S, Tummel R (Hrsg.); <https://www.rind-schwein.de/brs-news/kieler-erklaerung-zur-immunkastration-als-alternat.html>. accessed: 05.03.2024.

Lahrman K-H (2006). Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Ketamin/Azaperon-Allgemeinanästhesie bei Schweinen. *Der Praktische Tierarzt*, 87: 713-25.

Latorre MA, Lázaro R, Valencia DG, Medel P, Mateos GG (2004). The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *Journal of animal science*, 82 (2): 526-33.

Leidig MS, Hertrampf B, Failing K, Schumann A, Reiner G (2009). Pain and discomfort in male piglets during surgical castration with and without local anaesthesia as determined by vocalisation and defence behaviour. *Applied animal behaviour science*, 116 (2-4): 174-8.

McGlone J, Guay K, Garcia A (2016). Comparison of intramuscular or subcutaneous injections vs. castration in pigs – Impacts on behavior and welfare. *Animals*, 6 (9): 52.

McPherson FJ, Chenoweth PJ (2012). Mammalian sexual dimorphism. *Animal reproduction science*, 131 (3-4): 109-22.

Moore KL, Mullan BP, Dunshea FR (2017). Boar taint, meat quality and fail rate in entire male pigs and male pigs immunized against gonadotrophin releasing factor as related to body weight and feeding regime. *Meat science*, 125: 95-101.

Morgan L, Itin-Shwartz B, Koren L, Meyer JS, Matas D, Younis A, Novak S, Weizmann N, Rapaic O, Abu Ahmad W (2019). Physiological and economic benefits of abandoning invasive surgical procedures and enhancing animal welfare in swine production. *Nature*, 9 (1): 1-14.

Nielsen TS, Jessen N, Jørgensen JOL, Møller N, Lund S (2014). Dissecting adipose tissue lipolysis: molecular regulation and implications for metabolic disease. *Journal of molecular endocrinology*, 52 (3): R199-R222.

Niemann C (2017). Schlachthof Tönnies mit neuer Ebermaske. <https://www.bwagrar.de/Schlachthof-Toennies-mit-neuer-Ebermaske,QUIEPTU0NjM4NDcmTUIEPTE2MjkyNQ.html>. accessed: 27.02.2024.

Niemann C (2021). Projekt 100.000 Improvac®-Tiere - Auswertung der Schlachtdaten und Hinweise zur Fütterung. 100000 Improvac®-Tiere, Münster, 03.12.2021, 1-11.

Oonk HB, Turkstra JA, Schaaper WMM, Erkens JHF, Schuitemaker-de Weerd MH, Van Nes A, Verheijden JHM, Meloen RH (1998). New GnRH-like peptide construct to optimize efficient immunocastration of male pigs by immunoneutralization of GnRH. *Vaccine*, 16 (11-12): 1074-82.

Patterson RLS (1968). 5 α -androst-16-ene-3-one: – Compound responsible for taint in boar fat. *Journal of the science of food and agriculture*, 19 (1): 31-8.

Pauly C, Spring P, O'Doherty JV, Ampuerto Kragten S, Bee G (2008). Performances, meat quality and boar taint of castrates and entire male pigs fed a standard and a raw potato starch-enriched diet. *Animal*, 2 (11): 1707-15.

Pauly C, Spring P, O'doherty JV, Ampuero Kragten S, Bee G (2009). 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*, 3 (7): 1057-66.

Plonait H (2004). Die Kastration männlicher Schweine (Castration). In: *Lehrbuch der Schweinekrankheiten*. 4. Auflage; Waldmann K-H, Wendt M (Hrsg.); Stuttgart, Parey Verlag: 542-6.

Poulsen Nautrup B, Van Vlaenderen I, Aldaz A, Mah CK (2018). The effect of immunization against gonadotropin-releasing factor on growth performance, carcass characteristics and boar taint relevant to pig producers and the pork packing industry: A meta-analysis. *Research in veterinary science*, 119: 182-95.

Preinerstorfer A, Leithold A, Huber G, Krimberger B, Mösenbacher-Molterer I (2010). Erfahrungen zur Ebermast. *Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein, Irdning*, 27.05.2010, 47-54.

Prunier A, Bonneau M, Von Borell EH, Cinotti S, Gunn M, Fredriksen B, Giersing M, Morton DB, Tuytens FAM, Velarde A (2006). A review of the welfare consequences of surgical castration in piglets and the evaluation of non-surgical methods. *Animal welfare*, 15 (3): 277-89.

Prunier A, Brillouët A, Merlot E, Meunier-Salaün MC, Tallet C (2013). Influence of housing and season on pubertal development, boar taint compounds and skin lesions of male pigs. *Animal*, 7 (12): 2035-43.

Rehfeldt C, Tuchscherer A, Hartung M, Kuhn G (2008). A second look at the influence of birth weight on carcass and meat quality in pigs. *Meat science*, 78 (3): 170-5.

Richter A (2016). Lokalanästhetika. In: *Lehrbuch der Pharmakologie und Toxikologie für die Veterinärmedizin*. 4. Auflage; Löscher W, Richter A (Hrsg.); Stuttgart, Enke Verlag: 180-7.

RL 2008/120/EG (2008). Richtlinie 2008/120/EG des Rates vom 18. Dezember 2008 über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen (kodifizierte Fassung) (ABl. L 47 vom 18.2.2009, S. 5-13).

Rydhmer L, Hansson M, Lundström K, Brunius C, Andersson K (2013). Welfare of entire male pigs is improved by socialising piglets and keeping intact groups until slaughter. *Animal*, 7 (9): 1532-41.

Sattler T, Schmoll F (2012). Impfung oder Kastration zur Vermeidung von Ebergeruch – Ergebnisse einer repräsentativen Verbraucherumfrage in Deutschland. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 7: 117-23.

Scheper J, Scholz W (1985). DLG-Schnittführung für die Zerlegung der Schlachtkörper von Rind, Kalb, Schwein und Schaf: eine Standardmethode zur Bezeichnung und Abgrenzung der Teilstücke mit vergleichender Gegenüberstellung; Frankfurt, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft; 32.

Schnippe F (2021). Eber-Impfung: Tummel ist Vorreiter. <https://www.susonline.de/management/eber-impfung-tummel-ist-vorreiter-12760235.html>. accessed: 24.01.2024.

SchwHKIV (2020). Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper (Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung - SchwHKIV).

Simmons PS, Miles JM, Gerich JE, Haymond MW (1984). Increased proteolysis. An effect of increases in plasma cortisol within the physiologic range. *The Journal of clinical investigation*, 73 (2): 412-20.

Sinclair PA, Squires EJ (2005). Testicular sulfoconjugation of the 16-androstene steroids by hydroxysteroid sulfotransferase: Its effect on the concentrations of 5 α -androstenone in plasma and fat of the mature domestic boar. *Journal of animal science*, 83 (2): 358-65.

Skade L, Kristensen CS, Nielsen MBF, Diness LH (2021). Effect of two methods and two anaesthetics for local anaesthesia of piglets during castration. *Acta veterinaria Scandinavica*, 63 (1): 1-9.

Škrlep M, Poklukar K, Kress K, Vrecl M, Fazarinc G, Batorek L. N, Weiler U, Stefanski V, Čandek-Potokar M (2020). Effect of immunocastration and housing conditions on pig carcass and meat quality traits. *Translational animal science*, 4 (2): 1224-37.

Squires EJ, Bone C, Cameron J (2020). Pork production with entire males: Directions for control of boar taint. *Animals*, 10 (9): 1665.

Steybe L, Kress K, Schmucker S, Stefanski V (2021). Impact of housing condition on welfare and behavior of immunocastrated fattening pigs (*Sus scrofa domestica*). *Animals*, 11 (3): 618.

TierSchG (2022). Tierschutzgesetz (TierSchG). Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 20 des Gesetzes vom 20. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2752) geändert worden ist.

Tuytens FAM, Vanhonacker F, Verhille B, de Brabander D, Verbeke W (2012). Pig producer attitude towards surgical castration of piglets without anaesthesia versus alternative strategies. *Research in veterinary science*, 92 (3): 524-30.

van Beirendonck S, Driessen B, Geers R (2013). Belgian consumers' opinion on pork consumption concerning alternatives for unanesthetized piglet castration. *Journal of agricultural & environmental ethics*, 26: 259-72.

Verhaagh M, Deblitz C (2019). Wirtschaftlichkeit der Alternativen zur betäubungslosen Ferkelkastration – Aktualisierung und Erweiterung der betriebswirtschaftlichen Berechnungen, Thünen Working Paper 110. Thünen-Institut für Betriebswirtschaft (Hrsg.). accessed: 05.03.2024.

Verordnung (EG) Nr. 1249/2008 (2008). Verordnung (EG) Nr. 1249/2008 der Kommission vom 10. Dezember 2008 mit Durchführungsbestimmungen zu den gemeinschaftlichen Handelsklassenschemata für Schlachtkörper von Rindern, Schweinen und Schafen und zur Feststellung der diesbezüglichen Preise.

Vetidata (2024). Veterinärmedizinischer Informationsdienst für Arzneimittelanwendung, Toxikologie und Arzneimittelrecht. <https://vetidata.de/>. accessed: 01.03.2024.

VEZG (2024). Preisinfo Schweine. Vereinigung der Erzeugergemeinschaften für Vieh und Fleisch e. V. (Hrsg.). Oldenburg, <https://www.vezg.de/preisinfo-schweine.html>. accessed: 02.03.2024.

von Borell E, Bonneau M, Holinger M, Prunier A, Stefanski V, Zöls S, Weiler U (2020). Welfare aspects of raising entire male pigs and immunocastrates. *Animals*, 10 (11): 2140.

Waldmann K-H, Potschka H, Lahrmann K-H, Kästner S (2018). Saugferkelkastration unter Lokalanästhesie? Eine Situationsanalyse aus wissenschaftlicher Sicht. *Deutsches Tierärzteblatt*, 9 (66): 1218-26.

Walstra P, Maarse H (1970). Onderzoek geslachtgeur van mannelijke mestvarkens. *Researchgroep Vlees en Vleesware*, 2: 1-30.

Walstra P (1980). Growth and carcass composition from birth to maturity in relation to feeding level and sex in Dutch Landrace pigs. Diss. med. vet., Wageningen University and Research.

Walstra P, Merkus GSM (1996). Procedure for assessment of the lean meat percentage as a consequence of the new EU reference dissection method in pig carcass classification: based on discussion in the EU Management Committee on Pig Meat and based on discussions with dissection experts during a meeting on May 18-19. Unpublished working document, Zeist, 18.-19.05.1994.

Walstra P, Claudi-Magnussen C, Chevillon P, Von Seth G, Diestre A, Matthews KR, Homer DB, Bonneau M (1999). 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*, 62 (1): 15-28.

Weiler U, Wesoly R (2012). Physiologische Aspekte der Androstenon- und Skatolbildung beim Eber. *Züchtungskunde*, 84 (5): 365-93.

Weiler U, Isernhagen M, Stefanski V, Ritzmann M, Kress K, Hein C, Zöls S (2016). Penile injuries in wild and domestic pigs. *Animals*, 6 (4): 25.

Wesoly R, Jungbluth I, Stefanski V, Weiler U (2015). Pre-slaughter conditions influence skatole and androstenone in adipose tissue of boars. *Meat science*, 99: 60-7.

Westfleisch (2000). Mit AutoFOM in ein neues Zeitalter. https://www.westfleisch.de/fileadmin/Bilder/03_Landwirtschaft/03.04_Info_Landwirte/2000/Info_Landwirte_2000_November_Dezember_Special_Web_Final.pdf. accessed: 06.03.2024.

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

Xue JL, Dial GD, Pettigrew JE (1997). Performance, carcass, and meat quality advantages of boars over barrows: A literature review. *Journal of swine health and production*, 5 (1): 21-8.

Zamaratskaia G, Andersson HK, Chen G, Andersson K, Madej A, Lundström K (2008a). Effect of a Gonadotropin-releasing Hormone Vaccine (ImprovacTM) on Steroid Hormones, Boar Taint Compounds and Performance in Entire Male Pigs. *Zuchthygiene*, 43 (3): 351-9.

Zamaratskaia G, Rydhmer L, Andersson HK, Chen G, Lowagie S, Andersson K, Lundström K (2008b). Long-term effect of vaccination against gonadotropin-releasing hormone, using ImprovacTM, on hormonal profile and behaviour of male pigs. *Animal reproduction science*, 108 (1-2): 37-48.

Zamaratskaia G, Squires EJ (2009). Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal*, 3 (11): 1508-21.

Zankl A, Ritzmann M, Zöls S, Heinritzi K (2007). Untersuchungen zur Wirksamkeit und Gewebeverträglichkeit von Lokalanästhetika bei der Kastration männlicher Saugferkel. Deutsche tierärztliche Wochenschrift, 114 (11): 418-22.

Zoetis (2009). Improvac - Injektionslösung für Schweine. Zoetis Belgium SA (Hrsg.); https://vetidata.de/data/fachinfo/i/improvac_spcema20220405.pdf. accessed: 30.08.2022.

Zöls S, Reiter S, Ritzmann M, Weiss C, Numberger J, Schutz A, Lindner P, Stefanski V, Weiler U (2020). Influences of immunocastration on endocrine parameters, growth performance and carcass quality, as well as on boar taint and penile injuries. Animals, 10: 346.

XI. ANHANG

Tabelle 7: Im Schlachthof Heinz Tummel GmbH & Co. KG (Schöppingen, Deutschland) mittels AutoFOM III™ erfasste Schlachttierkörperparameter der IC, GI, BA und EM im Zeitraum von 2018 bis 2022 dargestellt als emmeans $\pm$ SD

Parameter	Jahr	Geschlecht			
		IC	GI	BA	EM
SKG (kg)	2018	96,12 ^{abc} $\pm$ 0,7765	95,57 ^c $\pm$ 0,1217	95,97 ^b $\pm$ 0,1219	95,29 ^a $\pm$ 0,1341
	2019	96,17 ^a $\pm$ 0,1752	95,64 $\pm$ 0,1216	96,18 ^a $\pm$ 0,1218	95,08 $\pm$ 0,1361
	2020	97,41 $\pm$ 0,1224	97,08 ^a $\pm$ 0,1215	97,06 ^a $\pm$ 0,1223	96,14 $\pm$ 0,1519
MFA(G) (%)	2018	97,15 ^a $\pm$ 0,1214	97,53 ^{cd} $\pm$ 0,1214	97,54 ^{bd} $\pm$ 0,1256	98,14 ^{abc} $\pm$ 0,2806
	2019	96,86 ^a $\pm$ 0,1214	97,33 $\pm$ 0,1215	97,04 ^a $\pm$ 0,1276	93,73 $\pm$ 0,3910
	2020	58,33 ^a $\pm$ 0,35063	62,25 $\pm$ 0,05819	59,39 ^a $\pm$ 0,05852	62,56 $\pm$ 0,06350
MFA(B) (%)	2018	61,04 $\pm$ 0,08134	62,55 $\pm$ 0,05815	59,48 $\pm$ 0,05823	63,03 $\pm$ 0,06433
	2019	61,22 $\pm$ 0,05847	62,69 $\pm$ 0,05810	59,59 $\pm$ 0,05847	62,94 $\pm$ 0,07116
	2020	61,62 $\pm$ 0,05806	62,89 ^a $\pm$ 0,05805	60,27 $\pm$ 0,05806	63,34 ^a $\pm$ 0,012799
SpM (mm)	2018	61,88 $\pm$ 0,05806	62,96 ^a $\pm$ 0,05808	60,81 $\pm$ 0,05806	63,47 ^a $\pm$ 0,17734
	2019	54,94 ^a $\pm$ 0,50719	59,94 $\pm$ 0,08333	56,21 ^a $\pm$ 0,08343	60,62 $\pm$ 0,09109
	2020	58,35 $\pm$ 0,11707	60,11 $\pm$ 0,08327	56,06 $\pm$ 0,08339	61,18 $\pm$ 0,09231
MuT (mm)	2018	58,38 $\pm$ 0,08375	60,18 $\pm$ 0,08320	56,12 $\pm$ 0,08370	61,01 $\pm$ 0,10226
	2019	59,07 $\pm$ 0,08315	60,54 $\pm$ 0,08313	57,12 $\pm$ 0,08573	61,63 $\pm$ 0,18480
	2020	59,44 $\pm$ 0,08315	60,61 $\pm$ 0,08317	57,75 $\pm$ 0,08700	61,77 $\pm$ 0,25632
MuT (mm)	2018	15,1 ^a $\pm$ 0,2638	12,5 $\pm$ 0,0435	14,5 ^a $\pm$ 0,0436	12,2 $\pm$ 0,0475
	2019	13,4 $\pm$ 0,0610	12,4 $\pm$ 0,0435	14,5 $\pm$ 0,0435	11,8 $\pm$ 0,0482
	2020	13,3 $\pm$ 0,0437	12,3 $\pm$ 0,0434	14,4 $\pm$ 0,0437	11,9 $\pm$ 0,0533
MuT (mm)	2018	13,0 $\pm$ 0,0434	12,2 $\pm$ 0,0434	13,9 $\pm$ 0,0447	11,7 $\pm$ 0,0962
MuT (mm)	2019	12,8 $\pm$ 0,0434	12,2 $\pm$ 0,0434	13,6 $\pm$ 0,0454	11,7 $\pm$ 0,1334
MuT (mm)	2018	62,30 ^a $\pm$ 0,6380	67,39 $\pm$ 0,1196	65,32 $\pm$ 0,1197	63,97 ^a $\pm$ 0,1282
MuT (mm)	2019	66,25 $\pm$	67,91 $\pm$	65,71 $\pm$	64,24 $\pm$

		0,1579	0,1196	0,1197	0,1296
	2020	66,19 ± 0,1201	68,67 ± 0,1195	66,09 ± 0,1200	64,46 ± 0,1408
	2021	66,42 ^a ± 0,1194	69,07 ± 0,1194	66,73 ^b ± 0,1223	66,00 ^{ab} ± 0,2388
	2022	66,71 ^a ± 0,1194	69,26 ± 0,1195	67,19 ± 0,1237	65,88 ^a ± 0,3264
BAC (kg)	2018	13,92 ^{ab} ± 0,16324	13,27 ± 0,02668	13,72 ^b ± 0,02671	13,42 ^a ± 0,02919
	2019	13,58 ± 0,03758	13,22 ± 0,02666	13,73 ± 0,02670	13,30 ± 0,02958
	2020	13,79 ± 0,02682	13,44 ^a ± 0,02664	13,87 ± 0,02680	13,44 ^a ± 0,03280
	2021	13,69 ^a ± 0,02662	13,48 ± 0,02662	13,86 ^b ± 0,02746	13,69 ^{ab} ± 0,05942
	2022	13,60 ± 0,02662	13,44 ± 0,02663	13,71 ± 0,02787	12,88 ± 0,08246
KLT (kg)	2018	11,50 ^a ± 0,11034	12,00 ± 0,01692	11,64 ^a ± 0,01694	11,94 ± 0,01872
	2019	11,92 ^a ± 0,02465	12,06 ± 0,01691	11,70 ± 0,01694	11,97 ^a ± 0,01900
	2020	12,10 ^a ± 0,01702	12,27 ± 0,01689	11,82 ± 0,01701	12,10 ^a ± 0,02129
	2021	12,11 ± 0,01688	12,35 ^a ± 0,01687	11,97 ± 0,01748	12,42 ^a ± 0,03973
	2022	12,12 ^a ± 0,01688	12,35 ± 0,01688	12,00 ^b ± 0,01778	11,93 ^{ab} ± 0,05547
LAC (kg)	2018	7,005 ^a ± 0,08157	7,555 ± 0,01205	7,236 ^a ± 0,01207	7,408 ± 0,01343
	2019	7,412 ^a ± 0,01792	7,586 ± 0,01204	7,249 ± 0,01206	7,441 ^a ± 0,01364
	2020	7,486 ^a ± 0,01212	7,715 ± 0,01203	7,328 ± 0,01211	7,511 ^a ± 0,01538
	2021	7,527 ± 0,01202	7,787 ^a ± 0,01201	7,457 ± 0,01248	7,771 ^a ± 0,02920
	2022	7,548 ^a ± 0,01202	7,786 ± 0,01202	7,484 ^b ± 0,01271	7,415 ^{ab} ± 0,04090
SCI (kg)	2018	24,02 ^{abc} ± 0,20438	24,57 ^c ± 0,03046	24,35 ^b ± 0,03050	24,08 ^a ± 0,03389
	2019	24,54 ^{ab} ± 0,04506	24,66 ^b ± 0,03043	24,46 ^a ± 0,03048	24,07 ± 0,03442
	2020	24,82 ± 0,03064	25,08 ± 0,03040	24,72 ± 0,03062	24,34 ± 0,03874
	2021	24,80 ^a ± 0,03037	25,23 ^c ± 0,03036	24,91 ^b ± 0,03152	24,97 ^{abc} ± 0,07326
	2022	24,76 ± 0,03037	25,20 ± 0,03038	24,85 ± 0,03209	23,98 ± 0,10254
SiS (kg)	2018	17,84 ^a ± 0,17671	19,04 ± 0,02676	18,35 ^a ± 0,02680	18,63 ± 0,02968
	2019	18,77 ^a ± 0,03925	19,14 ± 0,02674	18,42 ± 0,02678	18,73 ^a ± 0,03014
	2020	18,95 ^a ± 0,02692	19,46 ± 0,02671	18,61 ± 0,02690	18,93 ^a ± 0,03383
	2021	19,02 ± 0,02669	19,61 ^a ± 0,02668	18,89 ± 0,02767	19,48 ^a ± 0,06350

	2022	19,05 ^a ± 0,02669	19,60 ± 0,02670	18,92 ^b ± 0,02815	18,79 ^{ab} ± 0,08876
SCU (kg)	2018	11,80 ^{abc} ± 0,09051	11,94 ^c ± 0,01451	11,82 ^b ± 0,01453	11,87 ^a ± 0,01593
	2019	11,95 ^b ± 0,02065	11,97 ^b ± 0,01450	11,86 ^a ± 0,01452	11,88 ^a ± 0,01615
	2020	12,10 ± 0,01459	12,14 ± 0,01449	11,97 ^a ± 0,01458	12,01 ^a ± 0,01796
	2021	12,08 ± 0,01448	12,19 ^a ± 0,01448	12,05 ± 0,01495	12,23 ^a ± 0,03284
	2022	12,05 ± 0,01448	12,17 ± 0,01448	12,01 ± 0,01518	11,79 ± 0,04565
SuS (kg)	2018	8,936 ^{ab} ± 0,07680	9,266 ± 0,01243	9,038 ^b ± 0,01244	9,203 ^a ± 0,01362
	2019	9,240 ^a ± 0,01760	9,311 ± 0,01242	9,077 ± 0,01244	9,236 ^a ± 0,01381
	2020	9,359 ^a ± 0,01249	9,457 ± 0,01241	9,172 ± 0,01249	9,349 ^a ± 0,01533
	2021	9,368 ± 0,01240	9,517 ^a ± 0,01240	9,277 ± 0,01280	9,549 ^a ± 0,02791
	2022	9,361 ^a ± 0,01240	9,502 ± 0,01240	9,269 ^b ± 0,01299	9,267 ^{ab} ± 0,03877
RP	2018	89,71 ^a ± 0,8698	94,97 ± 0,1094	92,46 ^a ± 0,1096	93,46 ± 0,1265
	2019	94,26 ^a ± 0,1791	95,26 ± 0,1093	92,78 ± 0,1096	93,84 ^a ± 0,1291
	2020	95,34 ± 0,1104	96,58 ± 0,1091	93,80 ± 0,1102	94,65 ± 0,1497
	2021	95,43 ± 0,1090	97,09 ^a ± 0,1090	94,87 ± 0,1148	97,10 ^a ± 0,3048
	2022	95,36 ± 0,1090	96,93 ± 0,1091	94,70 ^a ± 0,1176	93,02 ^a ± 0,4321
RP/kg	2018	0,9320 ± 0,0059568	0,9940 ± 0,0006904	0,9632 ± 0,0006921	0,9805 ± 0,0008161
	2019	0,9803 ± 0,0011926	0,9964 ± 0,0006894	0,9644 ± 0,0006915	0,9868 ± 0,0008350
	2020	0,9790 ± 0,0006974	0,9956 ± 0,0006883	0,9663 ± 0,0006965	0,9847 ± 0,0009839
	2021	0,9826 ^a ± 0,0006873	0,9964 ^b ± 0,0006870	0,9731 ± 0,0007303	0,9904 ^{ab} ± 0,002093
	2022	0,9849 ^a ± 0,0006874	0,9968 ^b ± 0,0006878	0,9763 ± 0,0007511	0,9920 ^{ab} ± 0,0029486

Parameter in einer Zeile mit mindestens einem identischen Buchstaben unterscheiden sich nicht-signifikant ($p > 0,0004$); p-values basieren auf dem emmean ± SE der Parameter.

XII. DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Mathias Ritzmann für die Möglichkeit bedanken, an der Klinik für Schweine der LMU im Rahmen des aktuellen und vielschichtigen Themas der Immunokastration promovieren zu dürfen. Vielen Dank für die hervorragende Betreuung sowie die lehrreiche und schöne Zeit an der Klinik für Schweine.

Ein besonderes Dankeschön möchte ich meiner Betreuerin Frau PD Dr. Susanne Zöls für die großartige fachliche, menschliche und motivierende Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit aussprechen.

Herrn Mandes Verhaagh gilt ebenso mein herzlichster Dank für die hervorragende Unterstützung des Projekts durch seinen wertvollen fachlichen Input, der überragenden technischen Aufbereitung der enormen Schlachtdatenzahl sowie der Korrektur der Arbeit und der Anreise durch fast ganz Deutschland, um sich auch einmal persönlich kennenzulernen.

Ein großes Dankeschön gilt auch der Firma Zoetis, besonders Herrn Dr. Martin Kreutzmann, welcher diese Arbeit durch die Ursprungsidee, die Finanzierung und Organisation überhaupt möglich gemacht hat.

Dem Schlachthof Heinz Tummel GmbH & Co. KG und der SLA, in Person von Herrn Christian Freese, danke ich auch ganz herzlich für die Bereitstellung der Schlachtdaten und ganz besonders Herrn Reinhard Daldrup für seine Mühen, mir alle nötigen Informationen zu beschaffen und rund um die Uhr offene Fragen zu beantworten.

Ein großes Dankeschön gilt auch Herrn Dr. Yury Zablotski, der diese Arbeit mit seiner statistischen Expertise maßgeblich unterstützt hat, mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand und auch eine Analyse der enormen Datenmenge ermöglicht hat, als die Statistikprogramme der Klinik für Schweine ihr Limit erreicht hatten.

Allen Kolleginnen und Kollegen, allen voran den Pflegern und meinen Mitstreiterinnen Clara Reichl und Franziska Möhlmeier, möchte ich auch

für die schöne Zeit, die Unterstützung und das angenehme Arbeitsklima an der Klinik für Schweine danken. Dank Euch werde ich die Zeit an der Klinik in schöner Erinnerung behalten. Dabei dürfen natürlich auch die lieben Klinikschweine und ganz besonders Katharina, die die vielen Stunden an der Klinik auf ihre Art und Weise versüßt haben, nicht außer Acht gelassen werden.

Ein besonderer Dank gilt auch meinem Partner und meinen Freunden, welche mich bei meiner Arbeit immer unterstützt und motiviert haben. Zu guter Letzt möchte ich meiner Familie das größte und liebevolle Dankeschön aussprechen, welche mich bereits während meines gesamten Studiums und dem Zeitraum der Dissertation unglaublich unterstützt hat. Ohne Euch wäre ich jetzt nicht da, wo ich bin. Danke!