

Institut für Tierwissenschaften, Abteilung Tierzucht und Tierhaltung
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

**Züchterische Möglichkeiten zur Reduktion von geschlechtsbedingten
Geruchsabweichungen am Schlachtkörper von männlichen, unkastrierten
Mastschweinen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften

(Dr. agr.)

der

Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Bonn

vorgelegt im Juni 2013

von

Dipl.-Ing. agr. Luc Frieden

aus

Hagen (Luxemburg)

Referent: Prof. Dr. Karl Schellander

Korreferent: Prof. Dr. Brigitte Petersen

Dr. Ernst Tholen

Tag der mündlichen Prüfung: 29. November 2013

Erscheinungsjahr: 2013

Die vorliegende Arbeit wurde gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung (Förderkennzeichen: 28-1-35. 007-08).

Meiner Familie und Freunden
In Gedenken an Jacques Kugener

Züchterische Möglichkeiten zur Reduktion von geschlechtsbedingten Geruchsabweichungen am Schlachtkörper von männlichen, unkastrierten Mastschweinen

In der europäischen Union soll bis 2018 die operative Ferkelkastration ohne Anästhesie verboten werden. Neben der Immunokastration und der Kastration unter Betäubung ist die Ebermast eine attraktive Alternative. Eine umfassende Ausdehnung dieses Verfahrens ist jedoch aufgrund des Ebergeruchs, der hauptsächlich durch das Pheromon Androstenon und das Bakterienabbauprodukt Skatol verursacht wird, problematisch. Vor diesem Hintergrund waren die Hauptziele dieser Arbeit, den Anteil an Ebern mit Ebergeruch in aktuellen Schweinepopulationen zu quantifizieren und die züchterischen Möglichkeiten zur Reduktion des Anteils an geruchsbelasteten Eber zu untersuchen. Um diese Fragen zu beantworten, wurden 1010 Eber der Linie Piétrain × Kreuzungssau in fünf deutschen Prüfstationen, leistungsgeprüft. Hierbei wurden die Versuchsfaktoren Haltung (Einzel, Gruppe), Saison (Sommer, Winter) und Schlachtgewicht (85 kg, 95 kg) variiert.

Wie in vielen Sensorikstudien üblich, wurden Eber mit einem Gehalt von 250 ng bzw. 500 ng oder alternativ 150 ng Skatol bzw. 2000 ng Androstenon je g Fett einer Gruppe mit erhöhtem Risiko für Ebergeruch zugeordnet. Unter Verwendung dieser Grenzwerte wurden 48,1 bzw. 39,6 % der Eber in die Risikogruppe eingestuft. Die für Skatol strengere und für Androstenon liberalere Grenzwertziehung neuerer Studien bedingt, dass Skatol für den höheren Anteil an risikobelasteten Tieren verantwortlich ist. Die Zucht gegen Ebergeruch ist erfolgsversprechend, da beide Leitkomponenten, wie die Ergebnisse der eigenen Untersuchung zeigen, einen hohen Erblichkeitsgrad (Androstenon: 0,6; Skatol: 0,4) aufweisen. Ein spezifisches Problem bei der Zucht gegen Androstenon stellt dabei die zu erwartende unerwünschte Beziehung des Androstenons zu den Merkmalen der maternalen Fruchtbarkeit dar. Dieser Antagonismus war in der untersuchten Piétrain-Population mit Ausnahme der unerwünschten Korrelation von Androstenon zu Erstferkelalter ($r_g = -0,44$), nur schwach nachweisbar. Somit erscheint die Selektion gegen Androstenon nur in Vaterlinien realisierbar. Um die Auswirkungen einer Selektion gegen Ebergeruch zu quantifizieren, wurden Zuchtplanungsberechnungen mit Hilfe der Indextheorie durchgeführt. Dabei wurde als Informationsquelle des Ebergeruchs alternativ drei Szenarien unterstellt: a) labortechnische Analyse von Androstenon und Skatol, b) subjektive Erfassung durch Testpersonen im Schlachthof, c) Anwendung der Genomischen Selektion. Nach den Ergebnissen dieser Simulationsstudie dauert es bei den Varianten "a" und "c" bei der Vaterlinie 4 Generationen, um den Anteil Eber mit über 1000 ng Androstenon je g Fett von 50 auf 5 % zu reduzieren. Bei der Mutterlinie ist dieser Zeitraum deutlich länger (bis zu 9 Generationen), insbesondere dann wenn hohe negative Beziehungen zwischen maternaler Fruchtbarkeit und Androstenon ($r_g = |0,3|$) unterstellt werden. Szenario "b" erbrachte nur vergleichsweise geringe Züchterfolge. Dieses Ergebnis zeigt, dass eine Zucht gegen Ebergeruch in Mutterlinien derzeit nur schwer umsetzbar ist.

Opportunities to reduce boar taint of entire male carcasses by breeding

Within the European Union, the surgical castration without anaesthesia will be probably banned starting from 2018. Besides immunocastration, surgical castration with anaesthesia and fattening of entire males seem to be attractive alternatives. However, a broad expansion of fattening entire males is problematic due to boar taint, which is mainly caused by the pheromone androstenone and the bacterial degradation product skatole. Therefore, the aims of this study were to quantify the proportion of entire males with boar taint in the current pig population and to investigate the alternatives to reduce the amount of those boars by breeding. For this purpose, 1010 Pietrain sired crossbred boars of five German testing stations were tested for their performance. Different variations of factors including, husbandry (single, group penned), season (summer, winter) and slaughter weight (85 kg, 95 kg) were investigated.

In several sensory studies, the boars with contents of androstenone and skatole of 250 ng and 500 ng/g fat, respectively, or alternatively 150 ng and 2000 ng per g fat, were classified as boars with increased risk of developing boar taint. Using these thresholds, 48.1 and 39.6 % of the entire males were assigned to the corresponding risk groups. Recent studies showed that skatole is responsible for higher proportion of risked animals because of the use of a more conservative threshold level for skatole and a more reluctant one for androstenone. Due to high heritabilities of both components (androstenone: $h^2 = 0.6$; skatole: $h^2 = 0.4$), breeding against boar taint could be successful. The unfavourable estimated correlation between androstenone and traits of maternal fertility is one of the biggest problems of breeding against androstenone. However, this antagonism was only slightly detectable in the tested Pietrain-population, except for the correlation between androstenone and age at first farrowing ($r_g = -0.44$). Hence, selection only within sire lines is feasible. In order to quantify consequences of the selection against boar taint, calculations of a breeding program were performed by using the index theory. Using alternative variations of boar taint as information trait, three scenarios were assumed: a) laboratory analysis of androstenone and skatole, b) subjective detection by a slaughter line panel and c) application of Genomic Selection. The results of this simulation study showed that 4 generations are needed for the sire line to reduce the amount of boars with a concentration of androstenone of over 1000 ng/g fat from 50 % to 5 %, in case of variant "a" and "c". For the dam line, this time period is clearly extended (up to 9 generations) especially if high negative relationships would be suggested between maternal fertility traits and androstenone ($r_g = |0.3|$). In comparison, scenario "b" revealed lower breeding gains. As a result, presently breeding against boar taint in dam lines is difficult to be realized.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Abstract	V
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XII
Abkürzungsverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Ebergeruch	3
2.1.1 Hauptkomponenten des Ebergeruchs	3
2.1.2 Laboranalytische Geruchsfeststellung	5
2.1.3 Humansensorische Geruchsfeststellung	6
2.2 Chirurgische Kastration von Saugferkel	8
2.2.1 Aktueller Stand der gesetzlichen Grundlage auf nationalen und internationalen Ebene	9
2.2.1.1 Gesetzliche Regelung des Kastrationseingriffes	9
2.2.1.2 Verbot der Ferkelkastration	10
2.2.2 Alternativen zur betäubungslosen chirurgischen Saugferkelkastration	11
2.2.2.1 Chirurgische Kastration unter Schmerzausschaltung (Anästhesie)	12
2.2.2.2 Immunokastration	13
2.2.2.3 Spermasexing	15
2.3 Ebermast	16
2.3.1 Fleischleistung	17
2.3.2 Verhalten	18
2.3.3 Ebergeruch	19
2.3.3.1 Einflussfaktor: Fütterung	19
2.3.3.2 Einflussfaktor: Haltung	19
2.4 Genetische Aspekte des Ebergeruchs	21
2.4.1 Ebergeruchsbelastung bei verschiedenen Herkünften	21
2.4.2 Die genetische Fundierung der Ebergeruchskomponenten	25
2.4.3 Antagonismus zwischen der Fruchtbarkeit und Ebergeruch	28
2.4.4 Selektion gegen Ebergeruch	31

3	Material und Methoden	37
3.1	Tiermaterial	37
3.2	Fütterung und Haltung	39
3.3	Schlachtung	40
3.4	Probeentnahme und Merkmalerfassung	41
3.4.1	Fleischleistung	41
3.4.2	Fruchtbarkeit	42
3.5	Referenzanalyse von Androstenon, Skatol und Indol im Fett	43
3.6	Statistische Analyse	44
3.6.1	Faktorenbedingte Unterschiede	44
3.6.2	Genetische Fundierung und Zuchtwertschätzung	48
3.6.3	Zuchtplanung	51
4	Ergebnisse	54
4.1	Beschreibung der Rohdaten	54
4.2	Statistische Analyse: Einflussfaktoren auf Ebergeruchsmerkmale	60
4.2.1	Schlachtgewicht und Schlachtalter	60
4.2.2	Rasse	62
4.2.3	Saison	63
4.2.4	Haltung	65
4.2.5	Leistungsprüfstation	67
4.3	Unterschiede zwischen Sauen, Kastraten und Ebern in den Merkmalen der Fleischleistung	70
4.4	Genetik des Ebergeruchs	74
4.4.1	Genetische Parameter der Ebergeruchskomponenten	74
4.4.2	Beziehungen der Ebergeruchskomponenten zu anderen Merkmalskomplexen	75
4.4.2.1	Beziehungen zu Produktionsmerkmalen	75
4.4.2.2	Beziehungen zu Fruchtbarkeitsmerkmalen	76
4.4.3	Zucht gegen Ebergeruch	81
4.4.3.1	Zuchtwertschätzung	81
4.4.3.2	Selektionsstrategien gegen Ebergeruch	82

5	Diskussion	92
5.1	Unterschiede in der Produktionsleistung zwischen Ebermast und der Mast von Sauen und Kastraten	92
5.2	Anteil an risikobehaftende Schlachtkörper für Geruchsabweichung	95
5.3	Umweltbedingte Einflussfaktoren auf die Komponenten des Ebergeruchs	97
5.3.1	Schlachtgewicht bzw. -alter	97
5.3.2	Saison	98
5.3.3	Haltung	100
5.4	Genetisch bedingte Einflussfaktoren auf die Komponenten des Ebergeruchs	102
5.4.1	Unterschiede zwischen den Rassen und Herkünften	103
5.4.2	Genetische Fundierung innerhalb der Rassen	106
5.4.2.1	Beziehungen zwischen Ebergeruch und anderen Merkmalen	107
5.4.2.2	Beziehungen der Ebergeruchskomponenten zu den Merkmalen der paternalen Fruchtbarkeit	107
5.4.2.3	Beziehungen der Ebergeruchskomponenten zu den Merkmalen der maternalen Fruchtbarkeit	109
5.4.2.4	Beziehungen der Ebergeruchskomponenten zu den Produktionsmerkmalen	110
5.4.2.5	Zuchtplanung mit Hilfe Indextheorie	111
6	Zusammenfassung	117
7	Literaturverzeichnis	120
8	Appendix	137
	Danksagung	146

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Chronologischer Ablauf der Schlachtung aller LPAs, mit Anzahl weiblicher (♀), männlicher unkastrierter (♂) und männlicher kastrierter (K) Schweine, unterteilt in Einzel- (E) und Gruppenhaltung (G). Die beiden grau unterlegten Flächen symbolisieren die beiden Mastdurchgänge.	40
Abb. 2:	Konzentrationen von Androstenon und Skatol im Rückenspeck von Ebern mit unterschiedlichen Grenzwerten (N = 1010)	56
Abb. 3:	Stationsbedingte Unterschiede bezüglich der Androstenongehalte aller Piétrain-Eber (N = 1010) mit zwei unterschiedlichen Grenzwerten (1000 (blau) und 2000 (rot) ng Androstenon pro g Fett)	57
Abb. 4:	Stationsbedingte Unterschiede bezüglich der Skatolgehalte aller Piétrain-Eber (N = 1010) mit zwei unterschiedlichen Grenzwerten (160 (blau) und 250 (rot) ng Skatol pro g Fett)	58
Abb. 5:	Unterschiede zwischen den fünf LPAs und deren Haltungsform bezüglich der gemessenen Androstenon- und Skatolgehalte, basierend auf den Daten aller Piétrain-Eber (N = 1010) mit den jeweiligen Grenzwerten (Androstenon: 2000 ng/g Fett; Skatol: 160 ng/g Fett)	59
Abb. 6:	Einfluss des Schlachtgewichts auf Androstenon und Skatol (N = 1010)	61
Abb. 7:	Einfluss des Schlachtalters auf Androstenon und Skatol (N = 1010)	61
Abb. 8:	Saisoneffekt für Androstenon innerhalb der einzelnen LPAs	64
Abb. 9:	Saisoneffekt für Skatol innerhalb der einzelnen LPAs	65
Abb. 10:	Zuchtwerte von Androstenon (ln) und Skatol (ln) der KB-Eber (N = 136), standardisiert auf den Mittelwert 100 und Standardabweichung 20	81
Abb. 11:	Graphische Ableitung zur Bestimmung der 70 % relativen Effizienz und der dazugehörigen Selektionserfolge für den Ebergeruch und eines der Fruchtbarkeitsmerkmale. (Vaterlinie, "Labor", unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = 0,2)	88

- Abb. 12: Veränderung des Anteils an Ebern mit einem Androstenongehalt >1000 ng/g Fett bei der Selektion gegen Ebergeruch mit Hilfe des Informationsmerkmals "Labor". Annahme: Verbleibender Zuchterfolg im Vergleich zur Ausgangssituation: 70 % 89
- Abb. 13: Veränderung des Anteils an Eber mit einem Androstenongehalt >1000 ng/g Fett bei der Selektion gegen Ebergeruch mit Hilfe unterschiedlicher Informationsmerkmalen ("GS", "Labor", "HNS"). Annahmen: Verbleibender Zuchterfolg im Vergleich zur Ausgangssituation: 70 %; unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = $|0,2|$ 91
- Appendix:
- Abb. A1: Präparation der Hoden 137
- Abb. A2: Graphische Ableitung zur Bestimmung der 70 % relativer Effizienz und der dazugehörigen Selektionserfolge für den Ebergeruch und eines der Fruchtbarkeitsmerkmale. (Vaterlinie, "Labor", unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = $|0,3|$) 138
- Abb. A3: Graphische Ableitung zur Bestimmung der 70 % relativer Effizienz und der dazugehörigen Selektionserfolge für den Ebergeruch und eines der Fruchtbarkeitsmerkmale. (Mutterlinie, "Labor", unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = $|0,2|$) 139
- Abb. A4: Graphische Ableitung zur Bestimmung der 70 % relativer Effizienz und der dazugehörigen Selektionserfolge für den Ebergeruch und eines der Fruchtbarkeitsmerkmale. (Mutterlinie, "Labor", unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = $|0,3|$) 140

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Mittelwerte und Rassenunterschiede für Androstenon	22
Tab. 2:	Mittelwerte und Rassenunterschiede für Skatol	24
Tab. 3:	Erblichkeitsgrade von Androstenon, Skatol und Indol	25
Tab. 4:	Anzahl (N) in der Studie verwendeten Schlachtschweine, abhängig von LPA, Besamungsstation und Geschlecht	38
Tab. 5:	Übersicht: Beteiligte Leistungsprüfanstalten und Schlachtstätten	41
Tab. 6:	Zuordnung der Einzelmerkmale zu den jeweiligen Merkmalskomplexen	45
Tab. 7:	Fixe Modellfaktoren, Auswertung $P_i \times$ Kreuzungssauen, alle Eber:	46
Tab. 8:	Fixe Modellfaktoren, Auswertung Teildatensätze	47
Tab. 9:	Fixe und zufällige Modellfaktoren, Auswertung $P_i \times$ Kreuzungssauen, alle Eber	49
Tab. 10:	Fixe und zufällige Modellfaktoren, Auswertung Fruchtbarkeitsmerkmale der Piétrain Herdbuchsauen und Besamungseber:	50
Tab. 11:	Durchschnittliche Androstenon-, Skatol-, Indolkonzentrationen (\pm Standardabweichung) der einzelnen Leistungsprüfanstalten (LPA) mit deren Stationskodierung	54
Tab. 12:	Rassenspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten vom dritten Durchgang in LPA III	62
Tab. 13:	Haltungsformspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten vom zweiten Durchgang in LPA IV	66
Tab. 14:	Stationsspezifische (LPA) LSQ-Mittelwerte, unterschieden zwischen Gruppen- (G) und Einzelhaltung (E), basierend auf den Daten aller Eber (N = 1010)	69
Tab. 15:	Geschlechtsspezifische LSQ-Mittelwerte, basierend auf den Daten der LPA III (alle Durchgänge)	71
Tab. 16:	Geschlechtsspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten der LPA I, II und III (jeweils nur 2 Durchgänge)	72

Tab. 17:	Stationsspezifische (LPA) LSQ-Mittelwerte, unterschieden zwischen Ebern und Sauen, basierend auf den Daten der LPA I, II und III (jeweils nur 2 Durchgänge)	73
Tab. 18:	Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen den drei Ebergeruchskomponenten sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)	74
Tab. 19:	Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen Ebergeruchskomponenten und einigen Leistungsmerkmalen sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)	76
Tab. 20:	Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen Ebergeruchskomponenten und paternalen Fruchtbarkeitsmerkmalen sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)	77
Tab. 21:	Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen Ebergeruchskomponenten und Hodenparameter sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)	78
Tab. 22:	Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen und innerhalb des Merkmalkomplexes der Spermaqualität und -quantität und dem der Hodenparameter (\pm Standardfehler)	79
Tab. 23:	Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen Ebergeruchskomponenten und maternaler Fruchtbarkeitsmerkmalen sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)	80
Tab. 24:	Merkmale der Leistungsprüfung zur Zuchtwertschätzung des Ebers	83
Tab. 25:	Genetische Parameter der in der Indexselektion verwendeten Merkmalen	84
Tab. 26:	Korrelationen (r) zwischen den in der Indexselektion verwendeten Merkmalen (Oberhalb der Diag.: phänotypische r ; unterhalb der Diag.: genetische r)	85
Tab. 27:	Selektionserfolge (SE) im Merkmal Ebergeruch (\ln (ng/g Fett)) und Anzahl abgesetzter Ferkel in unterschiedlichen Parameter- und Selektionsszenarien bei 70 % relativer Effizienz	87

Appendix:

Tab. A1:	Rassenspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten vom dritten Durchgang in LPA III	141
Tab. A2:	Haltungsformspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten vom zweiten Durchgang in LPA IV	142
Tab. A3:	Stationsspezifische (LPA) LSQ-Mittelwerte, unterschieden zwischen Gruppen- (G) und Einzelhaltung (E), basierend auf den Daten aller Eber (N = 1010) (Teil 1)	143
Tab. A4:	Stationsspezifische (LPA) LSQ-Mittelwerte, unterschieden zwischen Gruppen- (G) und Einzelhaltung (E), basierend auf den Daten aller Eber (N = 1010) (Teil 2)	144
Tab. A5:	Geschlechtsspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten der LPA III	145

Abkürzungsverzeichnis

\bar{x}	Mittelwert
§	Paragrafenzeichen
μg	Mikrogramm (10 ⁻⁶ g)
€	Euro
Abs	Absatz
Agf	Anzahl abgesetzter Ferkel
ALZ	Ausschuss für Leistungsprüfung und Zuchtwertschätzung
And	Androstenon
Aussla	Ausschlachtung
AutoFOM	Automatisiertes Fat-O-Meater
AVV	Allgemeine Verwaltungsvorschriften
BHZP	Bundeshybridzuchtprogramm
BSST	Beltsville Sperm Sexing Technology
BVN	Besamungsverein Neustadt an der Aisch e.V.
c^2	Wurfumwelteffekte
ca.	circa
CV	Variationskoeffizient (Coefficient of variation)
DE	Deutsches Edelschwein
DGfZ	Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde e.V.
Diag.	Diagonale
DL	Deutsche Landrasse
Du	Duroc
EAAP	European Association for Animal Production
EDV	elektronische Datenverarbeitung
Efa	Erstferkelalter

EFSA	European Food Safety Authority
EG	Europäische Gemeinschaft
Eg	Ebergeruch
EU	Europäische Union
F1	Erste Nachkommengeneration (first filial)
Fa, Bauch	Muskelfleischanteil im Bauch, nach Gruber Formel
Fa, Bonn	Muskelfleischanteil, nach Bonner Formel
Fb	Fleischbeschaffenheit
FD	Fluoreszenzdetektor
Ffl	Fettfläche
Ffv	Fleisch-Fett-Verhältnis
Ffl	Fleischfläche
FIVO	Fleischhygieneverordnung
FSH	Follikelstimulierendes Hormon
Fvw	Futterverwertung
g	Gramm
GC/MS	Gas-Chromatographie/ Massenspektrometrie
GFS	Genossenschaft zur Förderung der Schweinehaltung eG
GfT	Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaften e.V.
ggf	gegebenenfalls
GnRH	Gonadotropin-Releasing-Hormon
h	Stunden
h_1, h_2	Wurzel der Heritabilitäten ($\sqrt{h^2}$) der Merkmale 1 und 2
h^2	Heritabilität, Erblichkeitsgrad
IME	Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie in Schmallenberg

Imf	Intramuskulärer Fettgehalt
Ind	Indol
KB	künstliche Besamung
kg	Kilogramm
Lc	Leicoma
LF ₂₄ , Schinken	elektrische Leitfähigkeit, 24 h post mortem im Schinken gemessen
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Lgf	Anzahl lebend geborene Ferkel
LH	Luteinisierendes Hormon
LHRH	Luteinisierungs-Hormon-Releasing-Hormon
LPA	Leistungsprüfungsanstalt
LSQ	Least Squares
LSZ	Landesanstalt für Schweinezucht
LW	Large White
M. long. dorsi	Musculus longissimus dorsi
ME	umsetzbare Energie (metabolisable energy)
Mio	Millionen
MJ	Megajoule
MI	Mastleistung
N	Anzahl Tiere
ng	Nanogramm (10 ⁻⁹ g)
NRW	Nordrhein-Westfalen
ns	nicht signifikant
<i>p</i>	Irrtumswahrscheinlichkeit
p.m.	post mortem
P ₁ , P ₂	Phänotyp der Merkmale 1 und 2

pH	negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration
pH ₁ , Kotelett	pH, 45 min post mortem im M. long. dorsi gemessen
pH ₂₄ , Schinken	pH, 24 h post mortem im Schinken gemessen
Pi	Piétrain
Q ₁	geschätzter genomischer Zuchtwert für Merkmal 1
QS	Qualität und Sicherheit GmbH
QTL	quantitative trait loci
r	Korrelation
r _g	genetische Korrelation
r _{MG}	Genauigkeit der Genomischen Selektion
r _p	phänotypische Korrelation
RP-HPLC	Reversed-phase High-Performance Liquid Chromatography (Umkehrphasen-Hochleistungsflüssigchromatographie)
Rsd	Rückenspeckdicke
s, σ	Standardabweichung
SchwHKIV	Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung
Sd	Samendichte
Sdrm	Speckdicke über Rückenmuskelfläche
SE	Standardfehler
Sk	Schlachtkörperzusammensetzung
Ska	Skatol
Sm	Spermamotilität, Anteil vorwärtsbewegliche Spermien
SNP	single nucleotide polymorphism
Ssd	Seitenspeckdicke
Sv	Samenvolumen
SZV	Schweinezuchtverband Baden-Württemberg e.V.

Tgz	Tageszunahme
TierSchG	Tierschutzgesetz
TSchV	Tierschutzverordnung
Tsv	Tropfsaftverlust
w	ökonomisches Gewicht
z.B.	zum Beispiel
ZDS	Zentralverband der Deutschen Schweineproduktion e.V.
ZW	Zuchtwert
Zwz	Zwischenwurfzeit

1 Einleitung

Die Schlachtkörper von männlichen Schweinen entwickeln häufig den sogenannten Ebergeruch. Aus diesem Grund wird die überwiegende Anzahl Eberferkel ohne Betäubung im Alter von weniger als 7 Tagen operativ kastriert. Dieses Verfahren wird seit mehreren Jahrzehnten sowohl in Deutschland als auch in anderen europäischen Ländern als Standardverfahren akzeptiert. Es wird geschätzt, dass 99 Millionen männliche Schweine jedes Jahr in der EU kastriert werden. Diese repräsentieren 79 % von insgesamt 125 Millionen männlichen Schweinen, die jährlich geschlachtet werden (PIGCAS 2009b). In Deutschland beläuft sich die Zahl der kastrierten Schweine ohne Betäubung auf 20 Millionen Schweine pro Jahr (BUNDESRAT 2012).

Der Ebergeruch ist eine sensorische Eigenschaft von Schweinefleisch, die typischerweise als durchdringende, unangenehme „urin-“, „fäkal-“ oder „süßlich-“ ähnliche Geschmacks- und Geruchsabweichung wahrgenommen wird. Die Kastration ist ein sicheres Verfahren, um den Konsumenten von Schweinefleisch vor diesen sensorischen Abweichungen zu schützen.

Neben dem Verbraucherschutz gewinnt der Tierschutz in jüngerer Vergangenheit zunehmend an Bedeutung. Die chirurgische Kastration von Eberferkeln verursacht bei den Tieren Schmerzen und ist daher aus Tierschutzgründen (EFSA 2004; RAULT et al. 2011; THUN et al. 2006) Gegenstand öffentlicher kontroverser Diskussionen. Vor diesem Hintergrund wurde auf nationaler und europäischer Ebene eine Reihe von Absichtserklärungen verfasst, in der das Ziel formuliert wurde, die operative Ferkelkastration ohne Narkose mittelfristig zu beenden. So haben sich die europäischen Landwirte und ihre Genossenschaften (COPA-COGECA) im Dezember 2010 in einer Erklärung verpflichtet, diese Form der Kastration bis zum Jahr 2018 zu beenden.

Derzeit werden auf den Ebenen Politik, Wissenschaft, Verbraucher und Produzenten die Alternativen der derzeit üblichen operativen Ferkelkastrationspraxis diskutiert. Hierzu gehören Verfahren wie die Kastration von Eberferkeln unter Verwendung von Narkosemittel (Isofluran), die Immunokastration (Improvac) und die Mast von unkastrierten Ebern (VON BORELL et al. 2009).

Die Ebermast wird aus Gründen des Tier- und Umweltschutzes, der Vermeidung von zusätzlichen Arbeitsbelastungen des Produzenten und der verbesserten Produktionsleistung als besonders vorteilhafte Alternative angesehen. Dieses Verfahren kann aber, wie u. a.

eine bundesweite BMELV Studie aus dem Jahre 1995 belegt (ANONYMUS 1995), nur dann aus Produzenten- und Konsumentensicht ohne Bedenken akzeptiert werden, wenn der Ebergeruch zuverlässig erfasst werden kann und möglichst wenige Mastgeber Geruchsabweichungen aufweisen. Der Kenntnisstand über die Frequenz der mit Ebergeruch behafteten Eber, unter anderem der am häufigsten in Deutschland eingesetzten schnell wachsenden modernen Herkünfte, ist derzeit noch unzureichend. Vor diesem Hintergrund kommt der Identifikation von Schweineherkünften mit geringem Geruchspotential und der Zucht gegen Ebergeruch eine besondere Bedeutung zu.

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, das Merkmal Ebergeruch in das Zuchtgeschehen bzw. Zuchtprogramm kommerzieller Schweinezuchtorganisationen zu integrieren. Dabei sollen insbesondere Besamungseber hinsichtlich ihrer Vererbung von Ebergeruch selektiert werden, mit dem Ziel die Anzahl geruchsauffälliger Nachkommen zu minimieren.

Vor dem Hintergrund der Konkurrenzsituation der Schweinezuchtorganisationen sind neben dem Merkmal Ebergeruch andere Merkmale wie die Fleischleistung und die Fruchtbarkeit von elementarer ökonomischer Bedeutung. Im Rahmen der Zuchtzielfestlegung sind diese Merkmalskomplexe im Hinblick auf die ökonomische Bedeutung zu balancieren. Hierbei ist insbesondere der Antagonismus zwischen Androstenon als einer der Leitkomponenten des Ebergeruchs und der Fruchtbarkeit von großer Bedeutung. Die Stärke dieses Antagonismus und die daraus resultierenden Konsequenzen für die zu erwartenden Selektionserfolge sollen im Rahmen dieser Arbeit quantifiziert werden. Somit wird das Potential der züchterischen Bearbeitung des Ebergeruchs unter Berücksichtigung der physiologischen und genetischen Grundlagen dargestellt.

Zusammengefasst lassen sich die Ziele der Arbeit wie folgt formulieren:

- Quantifizierung des Anteils von Eberschlachtkörpern mit Ebergeruch des in Deutschland derzeit dominierenden Mastendprodukts Piétrain × Kreuzungssau
- Kenntnis der genetischen Parameter einschließlich der zu erwartenden genetischen Beziehung zu anderen Merkmalskomplexen (Reproduktion, Mastleistung, Fleischbeschaffenheit, Schlachtkörperzusammensetzung).
- Kenntnis des zu erwartenden Züchtungserfolges.

2 Literaturübersicht

2.1 Ebergeruch

2.1.1 Hauptkomponenten des Ebergeruchs

Die beiden wichtigsten, für den Ebergeruch verantwortlichen Komponenten sind das pheromonale Steroid Androstenon (5α -androst-16-en-3-on) und das bakteriell synthetisierte Skatol (3-Methylindol). In einer Reihe von Übersichtsarbeiten wurden die Biosynthese und der Metabolismus dieser Stoffe beschrieben (BRACHER-JAKOB 2000; CLAUS et al. 1994; LÖSEL 2006; WALTER BUSCH und ALOIS HOLZMANN 2001; WEILER und WESOLY 2012; ZAMARATSKAIA und SQUIRES 2008). Grundlegende Aspekte der Stoffwechselwege von Skatol und Androstenon werden in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

Beim Androstenon handelt es sich um ein Pheromon, welches keine Hormonwirkung ausübt. Es wird mit Einsetzen der Pubertät in den Leydig-Zwischenzellen des Hodens neben anderen anabolen Steroiden, den Androgenen z.B. Testosteron und den Estrogenen unter der Kontrolle des neuroendokrinen Systems (vor allem LH und GnRH) produziert (BONNEAU 2006; DORAN et al. 2004; PATTERSON 1968). Als Vorstufe für Androstenon und den testikulären Steroiden, wie z.B. Testosteron, dient Pregnenolon und Progesteron, welches über die Vena spermatica in die Blutbahn gelangt. Mittels dieses Transportmediums gelangt ein Teil des Androstenons aufgrund seiner lipophilen Eigenschaft ins Fettgewebe (Rückenspeck). Der Rückenspeck dient als Art Zwischenspeicher, welcher bei Bedarf Androstenon wieder abgeben kann (reversibler Prozess). Ein wesentlicher Teil des Androstenon wird in die Speicheldrüse transportiert und dort angereichert. Hier, als auch in den Hoden, wird Androstenon in die beiden Alkoholformen umgewandelt, α - und β -Androstenol, die über den Speichel freigesetzt werden und unter anderem bei der Sau den Duldungsreflex auslösen. Von den beiden Alkoholformen geht ein moschusähnlicher Geruch aus, wobei Androstenon als urinähnlich wahrgenommen wird. Androstenon wird in der Leber innerhalb von zwei Phasen abgebaut, bei welchen unterschiedliche Enzyme zum Einsatz kommen. Die Abbaurate ist dabei unabhängig von der Androstenonkonzentration im Fettgewebe (BABOL et al. 1999). Bei

Abwesenheit der Ledig Zellen aufgrund der Kastration dauert es zwischen 3 und 6 Wochen bis Androstenon aus dem Fettgewebe abgebaut ist.

Bei der anderen fäkal-ähnlichen Geruchskomponente des Ebergeruchs, Skatol, handelt es sich um ein Fermentationsprodukt von L-Tryptophan, welches von speziellen Bakterienarten (*Escherichia coli*, *Lactobacillus* und *Clostridium*) im Blind- und Dickdarm produziert wird (LÖSEL 2006; LUNDSTRÖM et al. 2009; VOLD 1970; WALSTRA und MAARSE 1970). Die erzeugte Menge an Skatol ist somit in erster Linie von der Verfügbarkeit von Tryptophan und von der Zusammensetzung und der Aktivität der Darmbakterien abhängig. Eine wesentliche Quelle für Tryptophan stellt die Turnover Rate der Darmschleimhautzellen dar. Ein Teil des Skatols wird über den Kot ausgeschieden, während die überwiegende Skatolmenge durch die Darmwand über die Pfortader der Leber zugeführt wird. Bei der Passage des Skatols durch die Leber wird bereits ein großer Teil innerhalb von zwei Phasen abgebaut und über die Nieren ausgeschieden. Der restliche Teil an Skatol wird unverändert über die Lebervene ins Blut abgegeben. Darüber hinaus wird ein Teil des produzierten Skatols aus dem Rektum und dem distalen Teil des Colons direkt unter Umgehung der Leber in den peripheren Blutkreislauf absorbiert (CLAUS et al. 1994; LÖSEL 2006; WEILER und WESOLY 2012). Wie Androstenon besitzt Skatol auch einen lipophilen Charakter, was zur kontinuierlichen Aufnahme und Anreicherung des Skatols vorwiegend im Depotfettgewebe (Schinken-, Rücken-, Bauchspeck, Flomen) aber auch zum Teil im inter – und intramuskulären Fettspeicher (LÖSEL 2006; RIUS und GARCIA-REGUEIRO 2001; WEILER et al. 1995) sowie in geringen Konzentrationen im Muskelgewebe (CLAUS et al. 1994; DEHNHARD et al. 1991) führt. Es handelt sich hierbei um einen Diffusionsprozess, wodurch der Anreicherungsprozess reversibel ist und somit Skatol wieder freigesetzt werden kann, um in der Leber bei der zweiten Passage metabolisiert zu werden. Die Bildung von Skatol ist weder geschlechts- noch speziesabhängig. So wird Skatol im Verdauungssystem bei allen landwirtschaftlichen Nutztieren, wie z. B. beim Rind oder Ziege bakteriell gebildet (CLAUS et al. 1994; DEHNHARD et al. 1991). Im Vergleich zu den anderen Tierarten sind beim Schwein deutlich höhere Skatolgehalte im Fett zu messen (LÖSEL 2006). Die Konzentration an Skatol im Kot lässt sich sowohl bei Ebern als auch bei Sauen und Kastraten nachweisen; aber der im Rückenspeck gemessene Skatolgehalt ist in den meisten Fällen bei Ebern deutlich höher. Dies liegt vermutlich an der hemmenden Wirkung des Androstenons auf

die Expression des Enzyms CYP2E1, welcher hauptsächlich an der Metabolisierung von Skatol in der Leber beteiligt ist (DORAN et al. 2004).

Physiologisch ist Skatol ein Entgiftungssubstrat mit teilweise toxischer Wirkung (DEHNHARD et al. 1991). Die Toxizität ist dabei tierart-, gewebe- und zellspezifisch. Bei Wiederkäuern kann z. B. das im Pansen gebildete Skatol zu akuten Lungenödemen und –emphysemen führen. Im Gegensatz dazu wurde die lungentoxische Wirkung beim Schwein bisher noch nicht untersucht.

Während des bakteriellen Abbaus von L-Tryptophan wird neben Skatol auch Indol produziert, das ebenfalls als Bestandteil des fäkalartigen Geruchsanteils des Ebergeruchs genannt wird. Aufgrund der niedrigen Konzentrationen von Indol gegenüber Skatol und des geringer ausgeprägten fäkal-ähnlichen Geruchs, trägt Indol vermutlich jedoch nur unwesentlich zur Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung von Schweinefleisch bei (WEILER et al. 1995).

Neben den drei bereits aufgezählten Komponenten werden auch noch andere Stoffklassen im Bezug auf den Ebergeruch genannt, wie z.B. Aldehyde oder kurzkettige Fettsäuren (RIUS et al. 2005). Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese Substanzen eine untergeordnete Rolle beim Auftreten des Ebergeruchs spielen, d.h. der überwiegende Anteil der sensorisch wahrnehmbaren Geruchsabweichungen lässt sich durch die Leitkomponenten Androstenon, Skatol und Indol erklären. Der Zusammenhang zwischen den genannten Leitkomponenten und den sensorischen Eigenschaften von Schweinefleisch wird umfassend in den Arbeiten von FONT-I-FURNOLS (2012), LUNDE et al. (2010), MEIER-DINKEL et al. (2013) oder WINDIG et al. (2012) dokumentiert. Die dominierende Bedeutung von Androstenon und Skatol für den Ebergeruch wurde in der von BONNEAU & CHEVILLON (2012) veröffentlichten Studie bestätigt. Hierbei wurde gezeigt, dass Konsumenten Eberfleisch mit sehr geringen Gehalten an Androstenon (0,33 µg/g Fett) und Skatol (0,06-0,14 µg/g Fett) hinsichtlich Geruch und Geschmack in gleicher Weise bewerten wie Sauenfleisch ohne nennenswerten Skatolanteil. Diese Studie bestätigt die Aussagekraft von Androstenon und Skatol in der Bewertung des Ebergeruchs.

2.1.2 Laboranalytische Geruchsfeststellung

Die züchterische Bearbeitung des Ebergeruchs hat zur Voraussetzung, dass a) Androstenon, Skatol und Indol zuverlässig erfasst werden können und b) der

Zusammenhang zwischen diesen Leitkomponenten und den sensorischen Eigenschaften von Schweinefleisch in Form von Funktionen und/oder Schwellenwerten quantifiziert werden kann.

Um die Bestandteile des Ebergeruchs messtechnisch erfassen zu können, stehen einige Methoden zur Auswahl, die im Hinblick der Analyseergebnisse jedoch nur schwer zu vergleichen sind. Bis heute gibt es aber keine offizielle, international anerkannte Analysemethode für die Bestimmung von Skatol- und Androstenongehalten in Eberschlachtkörpern (HAUGEN 2010; HAUGEN et al. 2012; LUNDSTRÖM et al. 2009). In einer europaweit durchgeführten Studie ALCASDE (2009) mit identischen Speckproben zeigten sich signifikante Verzerrungen um den Faktor 2-3 für Skatol und 3-6 für Androstenon zwischen den Ergebnissen der 11 teilnehmenden Labore (HAUGEN 2010). Diese Abweichungen lassen sich durch Unterschiede in den verwendeten Methoden (HPLC, GC, kalorimetrische und immunologische Methoden) oder laborspezifische Besonderheiten (u. a. Probenziehung, Analyse- und Reinigungsprotokolle) erklären. Die Funktionsweise der HPLC und GC/MS Methode, welche für die Analyse von Androstenon und Skatol in dieser Arbeit verwendet wurde, wird im Abschnitt 3.5 des Material- und Methodenteils näher beschrieben. Die exakte Definition von Grenzwerten ist sowohl aus dem Blickwinkel einer Aussortierung von Schlachtkörpern mit Geruchsabweichung, als auch bei der Festlegung von Selektionsschärfen im Rahmen der Zuchtzieldefinition von elementarer Bedeutung (siehe Abschnitt 2.1.3). Folglich besteht ein hoher Bedarf an Harmonisierung und Standardisierung der Methoden zur Quantifizierung der Ebergeruchskomponenten (HAUGEN et al. 2012; THOMPSON et al. 2002; THOMPSON und WOOD 1995).

2.1.3 Humansensorische Geruchsfeststellung

Neben der objektiven Erfassung des Ebergeruchs werden derzeit in einigen kommerziellen Schlachthöfen humansensorische Methoden zur Beurteilung des Ebergeruchs genutzt. Diese Art der Messung ist subjektiv, bisher nicht standardisiert und mit dem besonderen Problem behaftet, dass die Intensität der Geruchsempfindung von Androstenon beim Verbraucher von partieller Geruchsblindheit (Anosmie) bis hin zur Registrierung geringer Konzentrationen (WEILER et al. 2000) schwankt. Hierbei spielen Faktoren, wie Alter, Geschlecht oder Nationalität eine Rolle (DORRIES et al. 1989; FONT-I-FURNOLS 2012;

FONT-I-FURNOLS et al. 2003; GILBERT und WYSOCKI 1987; MATTHEWS et al. 2000; WEILER et al. 2000). Die individuelle Wahrnehmung von Androstenon ist genetisch bedingt. KELLER et al. (2007) stellten fest, dass der menschliche Geruchsrezeptor (OR7D4) selektiv, unter anderem durch Androstenon, aktiviert wird. Menschen, welche das Allel mit der Bezeichnung WM besitzen, waren weniger sensitiv gegenüber Androstenon (LUNDE et al. 2012). Im Gegensatz dazu wird Skatol oberhalb bestimmter Grenzwerte vom Konsumenten nahezu ohne Ausnahme als fäkal-ähnlicher Geruch wahrgenommen.

In einer Vielzahl von Studien mit geschulten Expertenpanels zeigte sich eine enge Beziehung zwischen den Leitkomponenten und der subjektiven Wahrnehmung von Ebergeruch. Dabei ist von einem nicht linearen Zusammenhang auszugehen, der sich in der Definition von Grenzwerten niederschlägt, oberhalb derer mit einer deutlichen Zunahme von Geruchsabweichungen zu rechnen ist. In den Übersichtsarbeiten von WALSTRA et al. (1999) und LUNDSTRÖM et al. (2009) wurde berichtet, dass sich die Grenzwerte für Androstenon zwischen 500-1000 ng/g Fett bzw. für Skatol zwischen 200-250 ng/g Fett befinden. Neuere Konsumentenstudien von LUNDE et al. (2010) und BONNEAU & CHEVILLON (2012) lassen jedoch Zweifel an der oben genannten Grenzwertziehung aufkommen. In der norwegischen Konsumentenstudie von LUNDE et al. (2010) wurde darauf hingewiesen, dass Schlachtkörper mit Skatol- und Androstenongehalten von >100 bzw. 2000-3000 ng/g Fett ein zu hohes Risiko bezüglich negativer Reaktionen seitens der Konsumenten darstellen. Die Experimente von BONNEAU & CHEVILLON (2012) zeigten, dass die Akzeptanzgrenze der Konsumenten für Androstenon, bei sehr niedriger Skatolkonzentration (<50 ng/g Fett), in einem Bereich von 2,0 – 3,0 µg/g Fett liegt. Somit sind bei sehr niedrigen Skatolkonzentrationen die Grenzwerte für Androstenon vermutlich weniger scharf zu ziehen, was auch in der Studie von MEIER-DINKEL et al. (2013) bestätigt wurde. In dieser Studie wurden Eberfleischproben in zwei Belastungsgruppen eingeteilt. Die Proben in Gruppe 1 wiesen einen Androstenon- und Skatolgehalt von 1,5 bzw. 0,18 µg/g Fett auf, in Gruppe 2 von 0,9 bzw. 0,09 µg/g Fett. Die Proben wurden von einem Expertenpanel sensorisch bewertet. Dabei wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gefunden.

Die methodische Durchführung zur Feststellung von Geruchs- und Geschmacksabweichungen ist in der AVV Lebensmittelhygiene (2011a) definiert. Nach dieser Verordnung wird eine undifferenzierte hedonische Bewertung, z.B. mittels Kochprobe, vorgenommen, die jedoch nur bedingt nachvollziehbar und standardisierbar

ist. So sind z. B. keine Anforderungen an die sensorischen Fähigkeiten der Prüfer oder entsprechende Bewertungskriterien formuliert. Aus diesen Gründen ist eine züchterische Bearbeitung einer solchen hedonischen Bewertung kaum möglich. In wissenschaftlichen Untersuchungen sind dagegen eher differenzierte Bewertungen des Ebergeruches anzutreffen (ANNOR-FREMPONG et al. 1997a; LUNDE et al. 2010). Dass jedoch trotz Trainings ggf. eine große individuelle Variation zwischen den Prüfern bei der sensorischen Bewertung bleibt, wurde u.a. bei ANNOR-FREMPONG et al. (1997b) gezeigt.

Einen pragmatischen Ansatz für eine humansensorische Bewertung in großem Umfang wählten dagegen WINDIG et al. (2012). Rückenspeck in der Kammregion von Schlachtkörpern von Rein- und Kreuzungszuchttieren wurde mittels eines Lötkolbens („Hot Ironing“) erhitzt. Der entstehende Geruch wurde anhand einer fünfstufigen Skala von neun Prüfpersonen bewertet. Die phänotypischen Korrelationen (r_p) zwischen den Benotungen der verschiedenen Testpersonen lagen zwischen 0,06 und 0,51 und zwischen Human Nose Scores sowie den Leitkomponenten des Ebergeruchs Skatol und Androstenon bei 0,36 bzw. 0,27. Diese teilweise erheblich von 1 abweichenden Korrelationen zeigen nach Meinung der Versuchsansteller die hohe Umweltabhängigkeit der im Versuch etablierten Humansensorik.

Um die züchterischen Konsequenzen einer abweichenden Bewertung durch die Testpersonen bewerten zu können, wurden die Beurteilungen der Testpersonen als unterschiedliche Merkmale betrachtet. Die genetischen Korrelationen (r_g) zwischen diesen Merkmalen lagen mit 0,7 bis 1,0 auf einem deutlich höheren Niveau als die phänotypischen Schätzwerte. Ein ähnliches Bild ergab sich bei Betrachtung der genetischen Beziehungen zwischen HNS und den Leitkomponenten des Ebergeruchs (And, Ska). Auch hier überstiegen die r_g mit 0,90 (And) bzw. 0,65 (Ska) deutlich die entsprechenden r_p . Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse, dass relevante Rangierungsunterschiede in den Zuchtwerten für Ebergeruch in Abhängigkeit der Fähigkeiten der beteiligten Prüfer nicht zu erwarten sind.

2.2 Chirurgische Kastration von Saugferkel

Die Kastration von männlichen Tieren ist ein seit langer Zeit etabliertes Verfahren in der Schweineproduktion. Archäologische Funde belegen, dass die Praxis der Kastration beim Schwein bereits 4000 – 3000 vor Christus stattgefunden hat. In der Fleischproduktion

wurde die Kastration zum Zwecke der höheren Neigung zur Fetteinlagerung von Kastraten und des leichteren und ruhigeren Umganges mit den Tieren angewendet (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY 2004). Früher herrschte eine große Nachfrage nach Tieren mit hohem Fettanteil, während sich heutzutage der Konsumentenwunsch hin zu mageren Tieren entwickelt hat. Gegenwärtig wird die Kastration hauptsächlich aufgrund der Vermeidung von Ebergeruch angewendet und verursacht in seiner betäubungslosen Form Stress und akute Schmerzen (RAULT et al. 2011; THUN et al. 2006).

In Deutschland führt fast ausschließlich der Landwirt selbst den herkömmlichen chirurgischen Eingriff durch. Der benötigte zeitliche Aufwand befindet sich in einem Bereich von durchschnittlich 21 bis 71 Sekunden (FREDRIKSEN et al. 2009; HEINRITZI 2006; PLONAIT 2004). Die durchschnittlichen Kosten für die noch bestehende chirurgische Kastration ohne Narkose belaufen sich auf 0,50 € bis 0,60 € pro Ferkel für den Arbeits- und Materialaufwand (BUNDESRAT 2012). Durch die aus Tierschutzgründen öffentlich kontrovers geführte Diskussion der derzeitigen Kastrationspraxis wird ein Kastrationsverbot politisch diskutiert und hat bereits zu gesetzlichen Veränderungen geführt. Die aktuelle nationale und internationale gesetzliche Lage soll im folgenden Abschnitt 2.2.1 zusammengefasst werden.

2.2.1 Aktueller Stand der gesetzlichen Grundlage auf nationalen und internationalen Ebene

2.2.1.1 Gesetzliche Regelung des Kastrationseingriffes

Auf europäischer Ebene regelt die Richtlinie 2008/120/EG die Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen (RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 2009). Die „Kastration männlicher Schweine mittels eines anderen Verfahrens als dem Herausreißen von Gewebe“ (Appendix I, Abschnitt 1, Ansatz 8) stellt eine Ausnahme bezüglich des Verbots von Eingriffen, „die zu Beschädigungen oder dem Verlust eines Teils des Körpers“ führen dar. Dies darf aber „nach dem siebten Lebenstag (...) nur durch einen Tierarzt unter Anästhesie und anschließender Verwendung schmerzstillender Mittel durchgeführt werden.“ (Appendix I, Abschnitt 1, Absatz 8)

Im deutschen Tierschutzgesetz (TierSchG) (2010) ist eine Betäubung „für das Kastrieren von unter acht Tage alten männlichen Schweinen“ nicht erforderlich „sofern kein von der normalen anatomischen Beschaffenheit abweichender Befund vorliegt“ (§5 Abs. 3, Nr. 1a TierSchG). Trotz nicht erforderlicher Betäubung „sind alle Möglichkeiten auszuschöpfen, um die Schmerzen oder Leiden der Tiere zu vermindern“ (§5 Abs. 1 Satz 4 TierSchG). Bei Schweinen, welche älter als sieben Tage sind, wird im Tierschutzgesetz vorgeschrieben, den Eingriff durch einen Tierarzt vornehmen zu lassen und „schmerzstillende Arzneimittel einschließlich Betäubungsmittel“ anzuwenden (§6 Abs. 1 TierSchG).

Bislang haben die Gesetzgeber in Deutschland und der EU die Schwellenwerte der für den Ebergeruch verantwortlichen Substanzen, ab welcher Fleisch für genussuntauglich zu befinden ist, nicht festgelegt. Es ist nur geregelt, dass Fleisch für genussuntauglich zu erklären ist, wenn es „sich um Fleisch mit ... organoleptischen Anomalien, insbesondere ausgeprägtem Geschlechtsgeruch, handelt“ (EU-Verordnung Nr. 854/2004 des Lebensmittelhygienepaketes der EU (2004); Appendix I, Abschnitt II, Kap. V, Nr. 1p). In der nationalen AVV Lebensmittelhygiene (2011a) ist der ursprüngliche Test auf den Androstenongehalt der 2010 außer Kraft gesetzten FIHV (Artikel 7, 1. EULMRDVÄndV (2010a)) nicht mehr vorgesehen.

2.2.1.2 Verbot der Ferkelkastration

Bereits im September 2008 einigten sich Interessensvertreter der Fleischbranche (Deutscher Bauernverband (DBV), der Verband der Fleischwirtschaft (VDF) und der Hauptverband des Deutschen Einzelhandels (HDE)) in der sogenannten „Düsseldorfer Erklärung“ (2008) auf den baldmöglichsten Verzicht der Ferkelkastration. Als verbindliche Zwischenlösung wurde der Einsatz von schmerzstillenden Mitteln bei der Ferkelkastration festgelegt. In Deutschland ist der Wirkstoff Meloxicam als Schmerzmittel zugelassen (QS 2011). Ab 1. April 2009 wurde dieser Schmerzmitteleinsatz im Rahmen des QS-Labels Pflicht (QS 2009) und ab dem 01. Januar 2011 zum K.O.-Kriterium (QS 2011; 2013a).

In einer europäischen Erklärung (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2010) vom Dezember 2010 haben sich die wichtigsten Vertreter der Schweinewirtschaft in Europa freiwillig verpflichtet, dass in einem ersten Schritt „die chirurgische Kastration bei Schweinen ab dem 1. Januar 2012 gegebenenfalls nur noch bei verlängerter Verabreichung von Schmerz- und/oder Betäubungsmitteln und nach allseits anerkannten Methoden durchgeführt

werden“ darf. In Deutschland werden aufgrund der hohen Beteiligung am QS-System, heute schon ca. 95 % (QS 2013b) aller Schlachtschweine von dieser Anforderung erfasst. „In einem zweiten, längerfristig angelegten Schritt soll dafür gesorgt werden, dass die chirurgische Kastration bei Schweinen bis zum 1. Januar 2018 eingestellt wird“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2010). Voraussetzung für diese Verpflichtung ist die Bildung „einer europäischen Partnerschaft für die Schweinekastration, die die notwendigen Maßnahmen erarbeitet, um dieses Ziel zu erreichen“ (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2011).

Die deutsche Bundesregierung hat bereits auf diese europäische Erklärung reagiert. Im Entwurf eines dritten Gesetzes zur Änderung des Tierschutzgesetzes vom 29.08.2012 heißt es, dass „die betäubungslose Ferkelkastration ab 2017 verboten“ werden soll (DEUTSCHER BUNDESTAG 2012a). Der parlamentarische Ausschuss für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz stimmte Ende November dem Gesetzentwurf in geänderter Fassung zu, in welcher der Termin für das Verbot der Ferkelkastration auf das Jahr 2019 verschoben wurde.

Auch in anderen Ländern wurde das Problem der Ferkelkastration erkannt und geregelt, wie z.B. in der Schweiz, wo die Ferkelkastration seit 2010 nur noch unter Schmerzausschaltung erlaubt ist (TSchV, 11. Abschnitt, 2. Abs, Art. 224) (SCHWEIZER BUNDESRAT 2012) oder in Norwegen, wo seit 2002 nur vom Tierarzt und unter Anwendung von Anästhesie kastriert werden darf (FREDRIKSEN et al. 2011). In den Niederlanden wird ab 2009 nur Schweinefleisch von betäubt kastrierten Ferkeln vermarktet. Im Jahr 2015 soll die Kastration ganz beendet werden (ERKLÄRUNG VON NOORDWIJK (2007)). In Irland und dem Vereinigtem Königreich wird schon seit 20 – 30 Jahren auf die chirurgische Kastration weitgehend verzichtet und die Eber mit niedrigen (unter 100 kg) Lebendgewichten geschlachtet (EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY 2004; FREDRIKSEN et al. 2009; PIGCAS 2008).

Eine detailliertere Übersicht über die Situation der operativen Ferkelkastration in anderen europäischen Ländern geben die Studien der EFSA (2004), PIGCAS (2009a) und ALCASDE (2009).

2.2.2 Alternativen zur betäubungslosen chirurgischen Saugferkelkastration

Aufgrund der national und international geplanten Gesetzesänderung werden Alternativen zur bisherigen Ferkelkastration erforscht und diskutiert. Hierzu gehören Verfahren wie die

chirurgische Kastration von Eberferkeln unter Verwendung von Schmerzmitteln (Analgesie) und Narkosemittel (generelle und lokale Anästhesie), die Immunokastration (Improvac ®), ebenso wie die ausschließliche Aufzucht von weiblichen Tieren nach Sperma Sexing und die Mast von unkastrierten männlichen Schweinen.

Bisher mögliche Alternativen werden nachfolgend vorgestellt und beschrieben.

2.2.2.1 Chirurgische Kastration unter Schmerzausschaltung (Anästhesie)

Es gibt verschiedene Methoden der Schmerzausschaltung, die im Wesentlichen in generelle (komplette) und in lokale Anästhesie eingeteilt sind. Die generelle Betäubung wird entweder mittels Inhalation, intranasalem Spray oder per Injektion eingeleitet. Bei der Inhalationsanästhesie sind Isofluran und Sevofluran als einzige Inhalationsmittel beim Schwein in Deutschland erlaubt (LÖSCHER 2010; SCHULZ et al. 2007). Es wird schon vermehrt in der Schweiz eingesetzt, und zwar unter zu Hilfenahme einer Apparatur, bestehend aus einer Gaseinheit, die das Narkosegasgemisch zum Einatmen herstellt, Kontaktteilen (Maske und Schläuche) und einer Absaugvorrichtung für das überschüssige Narkosegas (KUPPER und SPRING 2008; VON BORELL et al. 2009). Der routinemäßige Einsatz von Isofluran wird durch ökonomische (apparativer Aufwand und Einsatz eines Tierarztes) und ökologische (Umweltverträglichkeit) Aspekte sowie durch seuchenhygienisches Risiko eingeschränkt (Kupper und Spring 2008; Mette 2008; Schulz 2007). Bei der Injektionsnarkose gibt es unterschiedliche Sichtweisen über den Grad der Schmerzausschaltung und die zum Teil erheblichen Nebenwirkungen. Laut LAHRMANN (2006) ist die Injektionsnarkose mittels Ketamin/Azaperon Kombination für schmerzhafte chirurgische Manipulation ohne ernsthafte Nebenwirkungen (evt. Hypothermie) und ohne Prämedikationen und Gegenmaßnahmen durchführbar. Es kann intramuskulär angewendet werden, wodurch eine Massenapplikation, wie im Falle der routinemäßigen Ferkelkastration notwendig, möglich wäre. Im Gegensatz dazu steht die Studie verschiedener Injektionsnarkotika von WALDMANN et al. (1994), welche schlussfolgern, dass die untersuchten Verfahren keine zufrieden stellenden Ergebnisse im Hinblick auf den Einsatz bei der Ferkelkastration zeigten, und zwar aufgrund unzureichender Schmerzausschaltung und/oder zum Teil erheblicher Nebenwirkungen, z.B. Atemstillstand, Hypothermie- und Erdrückungsgefahr durch mehrstündigem Nachschlaf und Hypothermiegefahr.

Bei der Lokalanästhesie besteht die Wirkungsweise nur in der Unterbrechung der Reizfortleitung der betroffenen Nervenfasern. Die Wirksamkeit der Lokalanästhesie ist im Hinblick auf Schmerzausschaltung wissenschaftlich umstritten. Die Arbeiten von ZANKL (2007) und ZÖLS (2006) kamen zu der Einschätzung, dass die Forderung der Schmerzverminderung bei der Ferkelkastration bei Anwendung einer Lokalanästhesie mit Procainhydrochlorid oder Lidocainhydrochlorid nicht erfüllt werden konnte, auch wenn eine gute Gewebeverträglichkeit vorlag. Im Gegensatz dazu fanden KLUIVERS-POODT et al. (2012) in ihren Untersuchungen jedoch eine verringerte Schmerzreaktion heraus, auch wenn der intraoperative Schmerz nicht komplett unterbunden werden konnte.

In Deutschland ist das Vorhaben der chirurgischen Kastration unter Schmerzausschaltung aus ökonomischen Gründen schwer umsetzbar. Ursache hierfür ist die Regelung im deutschen TierSchG (§5 Abs. 1 Satz 2, 2010), welche besagt, dass die „Betäubung warmblütiger Wirbeltiere sowie von Amphibien und Reptilien (...) von einem Tierarzt vorzunehmen“ ist. Somit werden aufgrund des apparativen Aufwandes und der Notwendigkeit der Einbindung eines Tierarztes Kosten in Höhe von 4,40 € bis 7,10 € pro Ferkel verursacht. Dies bedeutet eine Steigerung der Kosten um den Faktor 9 bis 12 im Vergleich zu der herkömmlichen Kastration ohne Narkose. Bei einer Anzahl von 20 Millionen Ferkelkastrationen pro Jahr in Deutschland würde diese Alternative zu Mehrkosten von ca. 100 Mio. Euro jährlich für die betroffenen Betriebe führen (BUNDESRAT 2012). Hinzu kommt, dass die Kastraten gegenüber den Ebern schlechtere Leistungsmerkmale aufzeigen (siehe Abschnitt 2.3). Somit können die durch den medizinischen Eingriff entstandenen Mehrkosten also nicht durch einen höheren Erlös aufgrund besserer Produktionsleistungen kompensiert werden.

2.2.2.2 Immunokastration

Eine mögliche Alternative zur chirurgischen Kastration ist die sogenannte Immunokastration. Bei diesem Verfahren wird nicht mittels eines chirurgischen Eingriffes die Produktion von Androstenon unterdrückt, sondern nur durch Initiierung einer immunologischen Reaktion (aktive Immunisierung). Die Wirkungsweise dieses Verfahrens sowie dessen Vor- und Nachteile wurden u.a. schon in den Arbeiten von FABREGA et al. (2010), FALVO et al. (1986), FUCHS et al. (2009), MILLET et al. (2011), SKRLEP et al. (2010a; 2010b) und ZAMARATSKAIA et al. (2008) beschrieben.

Das Prinzip beruht auf der Produktion von Antikörpern entweder gegen das im Hypothalamus erzeugte Gonadotropin-Releasing-Hormon (GnRH) oder gegen das in der Hypophyse synthetisierte Luteinisierendes Hormon (LH). In den Arbeiten von FALVO et al. (1986) und PRUNIER et al. (2006) wurde nachgewiesen, dass die Androstenon Produktion durch GnRH Antikörper wirksamer unterdrückt wird als durch LH Antikörper. Bei dieser Methode wird dem Tier eine modifizierte, unvollständige und synthetische Form von GnRH verabreicht, welches keine hormonelle Wirkung ausübt, sondern die Produktion von Antikörpern gegen das GnRH anregt und dessen Aktivität unterbindet. Dies hat eine Hemmung der Hodenfunktionen zur Folge, wodurch die Produktion von Androstenon und anderen testikulären Steroiden, wie beispielsweise Testosteron eingeschränkt oder gänzlich abgeschaltet wird, was kastrationsähnliche Effekte hervorruft. Zudem wird die Größe der Hoden deutlich reduziert. Der Effekt der Immunokastration ist reversibel, wobei etwa 10 Wochen nach der letzten der beiden erforderlichen Impfungen der Anteil an Tieren mit zurückkehrender Normalfunktion der Hoden ansteigt (EUROPEAN MEDICINES AGENCY (EU) 2012). Aufgrund der individuellen Variation der immunologischen Reaktion auf den Impfstoff können bei einigen wenigen Tieren hohe Androstenonkonzentrationen im Fett nachgewiesen werden. Somit ist eine absolute Sicherheit auch bei diesem Verfahren nicht garantiert (EINARSSON 2006; JAROS et al. 2005).

Die Konsumenten begegnen der Immunokastration mit einer gewissen Skepsis. Grund hierfür ist die Angst vor Rückständen im Fleisch und vor unbekanntem Langzeitfolgen infolge des Verzehrs von Schweinefleisch von behandelten Ebern (FREDRIKSEN et al. 2011). Bezüglich der Bewertung der Lebensmittelsicherheit werden von den zuständigen Behörden keine Wartezeiten zwischen der Impfung und dem Verzehr vorgeschrieben und somit wird die Immunokastration als unbedenklich eingestuft (European Medicines Agency (EU) 2012).

Die wesentlichen berichteten Vorteile von immunisierten Ebern sind neben der Senkung der Ebergeruchskomponenten im Fett ein vermindertes Aggressivitätspotential und ein verändertes soziosexuelles Verhalten im Vergleich zu intakten Ebern (ALBRECHT et al. 2012). Darüber hinaus zeigen die immunisierten Eber ein schnelleres Wachstum, eine bessere Futtermittelverwertung und einen höheren Muskelfleischanteil als Kastraten. Geschmacklich ist kein signifikanter Unterschied zwischen Immunokastraten und chirurgisch kastrierten Schweinen festzustellen (FONT-I-FURNOLS et al. 2008).

Als Nachteile des Verfahrens wird die arbeitstechnisch aufwändige Applikation der beiden Injektionen genannt. Insbesondere bei Ebern mit hohen Endgewichten, die in Gruppen gehalten werden ist die Verabreichung des Impfstoffes möglicherweise problematisch (EINARSSON 2006). Zusätzlich besteht die Gefahr der wiederholten Selbstinjektion des Anwenders, mit entsprechenden gesundheitsrelevanten Konsequenzen (EUROPEAN MEDICINES AGENCY (EU) 2012).

Der einzig kommerziell zugelassene Impfstoff für Schweine ist Improvac® (in den USA als „Improvest“ bekannt) der Firma Pfizer (BATOREK et al. 2012b), welches seit 11.05.2009 EU-weit (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2009) und davor bereits in insgesamt 53 Ländern zugelassen ist (BATOREK et al. 2012a; KUPPER und SPRING 2008; PIGCAS 2008).

2.2.2.3 Spermasexing

Durch die getrenntgeschlechtliche Trennung von Sperma wäre es möglich nur weibliche Ferkel zu produzieren und zu mästen. Damit könnte das Problem der Ferkelkastration gänzlich umgangen werden. Die zurzeit einzige anwendbare Technologie ist die sogenannte „Beltsville Sperm Sexing Technology“ (BSST). X- und Y-Chromosomen tragenden Spermazellen besitzen unterschiedliche DNA-Gehalte. Dieser Unterschied wird genutzt, um mit Hilfe der Durchflusszytometrie Zellen zu sortieren (JOHNSON 2000; JOHNSON et al. 2005).

Spermasexing wird bereits im großen Umfang in der Rinderzucht kommerziell eingesetzt. Auch beim Menschen wurde die Technik bereits angewandt und weitere Spezies, wie beispielsweise gefährdeten Spezies, Zoo- und Aquarientiere, sollen folgen (GROSSFELD et al. 2005; JOHNSON et al. 2005; SEIDEL 2009). Dennoch weisen die Autoren daraufhin, dass die Technologie zeitaufwändig und teuer ist. Zudem ist die Trächtigkeitsrate von gesextem Sperma geringer als bei ungesextem Sperma. So sank die Trächtigkeitsrate beim Schwein von 54,5 % bei Einsatz von ungesextem Sperma auf 33,3 % bei gesextem Sperma.

Die Praktikabilität dieser Methode ist beim Schwein besonders eingeschränkt, da große Mengen an Sperma (2,5 – 4 Milliarden Spermien) bei der konventionellen künstlichen Besamung einer Sau (HOFMO 2006; VAZQUEZ et al. 2009) benötigt werden. Um dieses Problem zu verringern wurde in den vergangenen Jahren die Technik der tiefen intrauterinen Insemination mittels eines speziellen Katheters entwickelt, welches es erlaubt, nur noch bis zu 50 Millionen Spermien pro Insemination einsetzen zu müssen.

Beim derzeitigen Stand der Forschung erlaubt die Effizienz der Durchflusszytometrie eine Produktion von 10 bis 15 Millionen sortierten Spermien pro Stunde. Dies bedeutet, dass ein Zeitraum für die Sortierung der Spermienmenge pro Insemination von 5 bis 10 Stunden benötigt wird. Durch diesen hohen zeitlichen Aufwand und die Kosten der Gerätetechnik ist der praktische Einsatz der BSST-Technologie derzeit in der Schweineproduktion nicht rentabel (VAZQUEZ et al. 2009).

Derzeitig werden alternative Technologien wie die laparoskopische Insemination (ROCA et al. 2011) sowie die alternative Differenzierung der männlichen und weiblichen Spermien (HOFMO 2006) diskutiert. Die laparoskopische Insemination erlaubt die benötigte Spermamenge auf 1-3 Millionen Spermien pro befruchtete Sau (ROCA et al. 2011) zu reduzieren. Bei der Technik von HOFMO (2006) werden Spermien nicht anhand des unterschiedlichen DNA-Gehaltes sortiert, sondern anhand von Unterschieden bezüglich der Proteine an der Oberfläche der Spermazellen. Ob bei diesem Verfahren eine praktikable Trennung des Eberspermas möglich ist, kann derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden.

Bei Berücksichtigung des derzeitigen Kenntnisstandes halten HOFMO (2006), JOHNSON et al. (2005), PARRILLA et al. (2012), PIGCAS (2009c) und VAZQUEZ et al. (2009) das Spermasexing auf langfristige Sicht für eine gute Alternative zur Ferkelkastration, jedoch sind zum jetzigen Zeitpunkt die beschriebenen Verfahren unter Praxisbedingungen noch nicht anwendbar.

2.3 Ebermast

Die Ebermast wird von Tierschutzorganisationen und generell von den Interessensvertretern im Hinblick auf die Nachhaltigkeit und Akzeptanz als die beste langfristige Lösung angesehen (DEUTSCHER BUNDESTAG 2012b; PIGCAS 2009c). Zum Schutze des Konsumenten muss jedoch garantiert werden, dass kein geruchsbelastetes Eberfleisch in den sensiblen Bereichen des Handels gelangt (PIGCAS 2009c).

In einigen Ländern wie Irland, England, Spanien und Portugal ist Ebermast als Standardverfahren in der Schweinefleischproduktion etabliert (BONNEAU 1998; PIGCAS 2009b).

In dem aktuellen EU-Lebensmittelhygienepaket und dessen nationaler Umsetzung (siehe Abschnitt 2.2.1.1) sind der davor geltende Androstenongrenzwert für Frischfleisch von 0,5 µg/g Fett und die umstrittene 80 kg Schlachtgewichtsgrenze nicht mehr enthalten (BRACHER-JAKOB 2000; BRANSCHIED W. 1995). Der Verzicht auf diese Beschränkungen hat dazu geführt, dass schon zum jetzigen Zeitpunkt eine nennenswerte Anzahl an unkastrierten Eberschlachtkörpern in Deutschland vermarktet wird.

Die Vorteile der Ebermast sind in den Arbeiten von BABOL & SQUIRES (1995), BONNEAU (1998), BRACHER-JAKOB (2000), EFSA (2004), LUNDSTRÖM et al. (2009), PAULY et al. (2009), WALSTRA (1974) und ZAMARATSKAIA & SQUIRES (2008) beschrieben. Auf der Basis dieser Arbeiten werden im Folgenden die wesentlichen Vor- und Nachteile der Ebermast, getrennt nach den Merkmalskomplexen Fleischleistung, Verhalten und Ebergeruch, zusammengefasst.

2.3.1 Fleischleistung

Die Ebermast wird aus Gründen des Tier- und Umweltschutzes (bessere Stickstoff-Verwertung der Eber), der Vermeidung von zusätzlichen Arbeitsbelastungen des Produzenten und der verbesserten Produktionsleistung als besonders vorteilhafte Alternative angesehen. So ist aus zahlreichen Studien bekannt, dass Eber eine bessere Schlachtkörperzusammensetzung, Futtermittelverwertung und einen höheren Muskelfleischanteil im Vergleich zu Kastraten aufweisen. Diese Überlegenheit der Eber wird durch die Produktion von anabolen Hodenhormonen (Androgene und Östrogene) erklärt, deren Konzentration mit beginnender Pubertät ansteigt. Hieraus resultiert das hohe Fleischansatzvermögen von Ebern gegen Ende der Mast, während Kastraten früher verfetten (BRACHER-JAKOB 2000; CLAUS et al. 1994). Auch aus diätetischer Sicht ist Eberfleisch eine vorteilhafte Alternative. Gründe hierfür sind der geringere Fettgehalt, der höhere Proteingehalt des Schlachtkörpers und der höhere Gehalt an mehrfach ungesättigten Fettsäuren in Fett und Muskel.

Vergleicht man die Mastleistung von Ebern und Kastraten, lässt sich kein eindeutiger Trend feststellen (XUE et al. 1997). ANDERSSON et al. (1997) maßen in ihrem Versuch höhere tägliche Zunahmen bei den Ebern, während in der Studie von KUPPER & SPRING (2008) schlechtere Zunahmen von gemästeten schweizer Jungebern („Proschwein“) zu verzeichnen waren. Die Gründe für diese Unterschiede sind vielseitig. Zu nennen sind die

Zusammensetzung des Futters, das Alter bei der Kastration oder auch das Management (XUE et al. 1997). Zudem könnte die Ursache auch in den unterschiedlichen Fütterungsregimen liegen. WALSTRA (1974) zeigte, dass unter den Bedingungen der ad. Libitum Fütterung Kastrate und unter restriktiver Fütterung Eber schneller wachsen.

Neben dem Auftreten des Ebergeruchs werden folgende negative Konsequenzen der Ebermast diskutiert: Niedrigere Ausschachtung, geringerer intramuskulärer Fettgehalt gegenüber Kastraten, schlechtere Verarbeitungsqualität des Fettes aufgrund des höheren Wassergehaltes und des höheren Anteils an ungesättigten Fettsäuren der Eber im Vergleich zu den Kastraten.

Zusätzlich zu den oben genannten Problemen der Ebermast, muss auch die Formel zur Handelsklasseneinteilung der Schlachtkörper (SchwHKIV, BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2011b) für Eber angepasst werden. Grund hierfür ist der deutliche Unterschied der Eber in ihrer Körperzusammensetzung gegenüber Sauen und Kastraten (DOBROWOLSKI et al. 1995), was bei Anwendung der gleichen Formeln zur Handelsklasseneinteilung wie bei Sauen und Börgen zu einer Unterschätzung der Eber führt (BAUER 2010). Das Schlachtunternehmen Tönnies beispielsweise hat darauf reagiert und führte ein neues Handelswert-Abrechnungsmodell zur Erlösgestaltung bei Mastebnern auf Grundlage der AutoFOM-Klassifizierung zum 01.07.2012 ein (EYNCK 2012). Bei der Bewertung der Masteber aus einer Stichprobe mit Hilfe des „Eber“ Abrechnungssystems der Firma Tönnies schnitten die Eber im Mittel um +0,81 € pro Schlachtkörper (Standardabweichung $\pm 3,15$ €) besser ab als bei der Bewertung durch das bisherige Abrechnungssystem (ADAM 2012a). Insofern ist auch eine Anpassung der Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung diesbezüglich erforderlich.

2.3.2 Verhalten

Generell besitzen Eber ein höheres Aggressionspotential als Kastraten oder Sauen (GIERSING et al. 2006). Allerdings gibt es hierbei haltungsbedingte Unterschiede, was das Ausmaß des Verhaltens betrifft und bei der Durchführung der Ebermast berücksichtigt werden sollte. Eber verhalten sich aggressiver in reinen Ebergruppen als in gemischten Gruppen in denen sich auch Sauen befinden (BOYLE und BJORKLUND 2007; RYDHMER et al. 2004). Die Vermarktungsstrategie, ob die Tiere in einer oder in mehreren Partien

(„Split Marketing“) geschlachtet werden, kann auch eine Rolle bezüglich des Verhaltens spielen. Bei der Studie von BOYLE & BJORKLUND (2007) tritt das Aufspringverhalten und die Anzahl an Hautverletzungen tendenziell vermehrt nach dem Herausschlachten der schwersten Tiere in der rein männlichen sowie der weiblichen Gruppe auf, wohingegen bei der gemischten Gruppe es zu verringertem negativem Verhalten kommt. FREDRIKSEN & HEXEBERG (2009) registrieren ebenfalls einen Anstieg an ungewolltem Verhalten bei der Anwendung des „Split Marketings“, wobei dies vermehrt bei Ebern im Vergleich zu Sauen auftritt. In der Gruppe löst das Herausnehmen eines Tieres sozialen Stress aus, weil die soziale Struktur gestört ist und somit die Dominanzhierarchie neu entsteht. Die Folge ist, dass das Aggressionspotential gesteigert wird (BOYLE und BJORKLUND 2007; BURMAN et al. 2008). Dieses aggressivere Verhalten der Eber mit den damit einhergehenden Verletzungen, die die Schlachtkörper- und Fleischqualität gefährdet, bewirkt, dass die Ebermast aus Sicht des Tierschutzes bedenklich ist (GIERSING et al. 2006).

2.3.3 Ebergeruch

2.3.3.1 Einflussfaktor: Fütterung

Der geschlechtsbedingte Geruch kann durch nutritive, haltungsbedingte (siehe Abschnitt 2.3.3.2) und genetische Ansätze (siehe Abschnitt 2.4) beeinflusst werden. Auf die nutritiven Einflüsse werden in den Übersichtsarbeiten von WESOLY & WEILER (2012), ZAMARATSKAIA (2008) und LÖSEL (2006) beschrieben worden sind, wird im Verlauf dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

2.3.3.2 Einflussfaktor: Haltung

In den nachfolgend beschriebenen Studien wurde u.a. untersucht, welche Effekte die Aufstallungsformen Einzel- oder Gruppenhaltung bzw. getrennt- oder gemischtgeschlechtliche Haltung auf den Ebergeruch ausüben. Dabei wurde hypothetisch ein Zusammenhang zwischen den Haltungsformen und Ebergeruch vermutet, da die Ausgestaltung der Haltung das Dominanz- und Aggressionsverhalten der Eber, mit Auswirkungen auf die Androstenonproduktion, beeinflussen könnte.

GIERSING et al. (2006; 2000) untersuchten die Wirkung von sozialen Faktoren auf die Konzentration der beiden Hauptkomponenten des Ebergeruchs. Hierbei wurde zunächst festgestellt, dass die soziale Hierarchie innerhalb einer Gruppe einen größeren Einfluss auf den Androstenongehalt hatte als das vorherrschende Aggressionsniveau in der Gruppe. In einem Versuch mit in Zweiergruppen aufgestellten Ebern wurde gezeigt, dass das dominanteren der beiden Tiere eine doppelt bis fünffach höhere Androstenonkonzentration im Rückenspeck aufwies als sein Gruppenpartner. Dies deutet darauf hin, dass durch das dominante Auftreten des einen Tieres, die sexuelle Entwicklung des Partners verzögert wurde (CLAUS et al. 1994). Ebenfalls konnte in dem Versuch von GIERSING et al. (2000) gezeigt werden, dass Tiere mit hohen Androstenonwerten die Androstenonsynthese anderer Eber einer Gruppe stimulierten. Je höher der Androstenongehalt eines Ebers einer Gruppe war, desto höher war auch der Durchschnitt der Androstenonkonzentrationen der Gruppe.

FREDRIKSEN et al. (2006a) zeigten, dass eine stabile Gruppe von Geburt bis zur Schlachtung wichtig ist; denn bei diesem System kommt es zu weniger Verletzungen und auch zu geringeren Androstenongehalten als dies bei Gruppen der Fall war, welche aus Tieren verschiedener Würfe bestanden. Diese Umgruppierung kann den Beginn der Geschlechtsreife stimulieren, wodurch die Entwicklung der Hoden voranschreitet und die Produktion von Androstenon beginnt. ANDERSSON et al. (1997) beobachteten, dass gemischte Gruppen zu niedrigeren Skatolwerten tendieren. Bei der Studie von FÀBREGA et al. (2011) führte der visuelle Kontakt zu weiblichen oder zu männlichen Artgenossen zu keinen unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich Androstenon und Skatol. Zwischen Einzel- und Gruppenhaltung zeigte die Studie von PAULY et al. (2009) keine signifikanten Differenzen mit Blick auf die beiden Ebergeruchsstoffe.

Ein weiterer Einflussfaktor, speziell für Skatol, besteht im Grad der Verschmutzung der Umgebung der Schweine. Bei der Studie von HANSEN et al. (1994) führte eine saubere Umgebung zu geringeren Skatolkonzentrationen als bei verschmutzten Schweinen. Dies wird nur zum Teil von der Studie von ALUWÉ et al. (2011) bestätigt, welche zwar keine signifikanten Unterschiede zwischen der „schmutzigen“ und der „sauberen“ Gruppe beobachten konnten, dennoch waren die Werte bei der ersten Gruppe tendenziell höher. Der Grund für die höheren Skatolwerte bei höherem Verschmutzungsgrad liegt in der Absorption des Stoffes über die Haut, welche bei der Bauchhaut (40 %) höher ist als bei der Rückenhaut (6 %). Dies wurde durch Studien unter Verwendung von radioaktivem

Skatol bestätigt (ALUWÉ et al. 2011). Es wurde aber auch die Hypothese über eine Aufnahme von Skatol über die Lunge aufgestellt (HANSEN et al. 1994).

Der Einfluss der Tageslichtlänge (Effekt der Photoperiode), welche durch entsprechende Lichtprogramme gesteuert werden kann, beeinflusst ebenfalls den Androstenon Gehalt. Die Studien von ANDERSSON (2000), BONNEAU (2006) und CLAUS et al. (1994) verdeutlichen, dass bei abnehmender bzw. kurzer Tageslichtlänge (Winter) der Androstenon Gehalt ansteigt, während im Sommer die Konzentration des Androstenons reduziert wird. Dieser photoperiodische Effekt beeinflusst den Beginn der Pubertät und somit die Androstenonsynthese in den Hoden.

2.4 Genetische Aspekte des Ebergeruchs

Mit Blick auf die Fragestellungen der Arbeit sind die genetischen Einflussmöglichkeiten des Ebergeruchs mit dem Ziel einer optimierten Zuchtplanung von zentraler Bedeutung.

2.4.1 Ebergeruchsbelastung bei verschiedenen Herkünften

Eine Zusammenstellung der Ergebnisse aktueller (>2006) Studien, welche sich mit der Erfassung der Leitkomponenten Androstenon und Skatol befassen, ist den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen. Ältere Literaturergebnisse sind in der Übersichtsarbeit von BRACHER-JAKOB (2000) zu finden. Aufgrund der in Abschnitt 2.1.2 genannten Unterschiede in der laboranalytischen Erfassung von Skatol und Androstenon ist eine exakte, studienübergreifende Quantifizierung der Rassenunterschiede nur eingeschränkt möglich. Die Spannweite der Androstenon Gehalte im Rückenspeck reicht von 0,49 bis 3,27 µg/g Fett. Die jeweiligen Linien lassen sich hinsichtlich Androstenonkonzentration in absteigender Reihenfolge in die Rassengruppierungen Duroc, Mutter-, Vaterlinien (ohne Piétrain) sowie Piétrain einschließlich Piétrain-Kreuzungen rangieren. Diese Reihenfolge deutet darauf hin, dass die Androstenon Gehalte mit zunehmendem Magerfleischanteil der Herkünfte abnimmt. Zu einer ähnlichen Rangierung gelangten auch die Studie von FREDRIKSEN et al. (2006a) und die Übersichtsarbeit von SQUIRES (2006), wobei letzterer einen deutlichen Unterschied bezüglich dem Anteil an Eber mit hohem Androstenonlevel zwischen Duroc (50 %) und Hampshire, Yorkshire und Landrasse (5 – 8 %) feststellte.

Tab. 1: Mittelwerte und Rassenunterschiede für Androstenon

Rasse	Land	N	Androstenon		Ref.
			$\mu\text{g} / \text{g Fett}$		
			\bar{x}	s	
Landrasse	N	1728	1,19	1,10	1)
Duroc		1202	3,27	2,52	
Topigs Endstufeneber	NL	1539	1,71	1,42	2)
Pi×F1 (Gruppenhaltung)	D	61	0,69	0,79	3)
		64	0,94	0,91	
Duroc		3000	1,09	0,77	
Large White		710	1,02	1,59	
Piétrain (Pi)		627	0,49	0,51	
Duroc, spanische Linie	NL	178	2,47	1,99	4)
Landrasse französische Linie		317	1,61	1,60	
Landrasse niederländische Linie		443	1,25	1,60	
York Linie		238	1,92	2,30	
Duroc × Landrasse		123	2,51		
Yorkshire	NL	196	1,21		5)
Piétrain		155	1,59		

¹⁾TAJET et al. (2006), ²⁾BERGSMA et al. (2007), ³⁾ADAM et al. (2009), ⁴⁾WINDIG et al. (2012),
⁵⁾MERKS et al. (2009)

In ähnlicher Weise wie beim Merkmal Androstenon sind auch deutliche Unterschiede in der Skatolkonzentration zwischen den untersuchten Linien zu beobachten. Eine systematische Abgrenzung der Rassen im Hinblick auf ihre Stellung im Zuchtprogramm ist jedoch nur ansatzweise möglich. Besonders hohe Konzentrationen zeigen einige Mutterlinien (WINDIG et al. 2012), aber auch Pi-Kreuzungen (ADAM et al. 2009) können Skatolkonzentrationen im Bereich von 150 ng/g Fett aufweisen.

BABOL et al. (2004) wiesen in ihrer Arbeit darauf hin, dass eine Interaktion zwischen Rasse und Herkunftsland besteht. In Schweden war der Anteil Duroc Eber mit mehr als 0,2 ppm Skatol doppelt bzw. 3-fach höher als bei Hampshire bzw. Landrasse Eber. Dies steht im Gegensatz zu den Studien von TAJET et al. (2006), WINDIG et al. (2012) und MERKS et al. (2009) (Tab. 2), bei denen die Duroc-Tiere immer niedrigere Skatolwerte im Vergleich zu anderen Rassen gemessen. Gründe hierfür können die genetischen Unterschiede innerhalb einer Rasse zwischen den Ländern, unterschiedliche Fütterungsstrategien oder die bereits erwähnten laboranalytischen Unterschiede sein (BABOL et al. 2004). Dennoch zeigen die Rassenunterschiede, dass Skatol ebenfalls genetisch beeinflusst wird, was unter anderem eine Selektion auf beide Komponenten möglich macht.

Tab. 2: Mittelwerte und Rassenunterschiede für Skatol

Rasse	Land	N	Skatol		Ref.
			$\mu\text{g} / \text{g Fett}$		
			\bar{x}	s	
Landrasse	N	1372	0,10	0,17	1)
Duroc		906	0,05	0,07	
Topigs	NL	1539	0,08	0,08	2)
Pi \times F1 (Gruppenhaltung)	D	61	0,11	0,12	3)
		64	0,15	0,22	
Duroc		3000	0,064	0,068	
Large White		710	0,095	0,092	
Piétrain (Pi)		627	0,080	0,091	
Duroc, spanische Linie	NL	178	0,050	0,051	4)
Landrasse französische Linie		317	0,199	0,209	
Landrasse niederländische Linie		443	0,303	0,262	
York Linie		238	0,192	0,294	
Duroc \times Landrasse		123	0,085		
Yorkshire	NL	196	0,091		5)
Piétrain		155	0,115		

¹⁾TAJET et al. (2006), ²⁾BERGSMA et al. (2007), ³⁾ADAM et al. (2009), ⁴⁾WINDIG et al. (2012),

⁵⁾MERKS et al. (2009)

2.4.2 Die genetische Fundierung der Ebergeruchskomponenten

Die geschätzten Erblichkeitsgrade der Leitkomponenten des Ebergeruchs liegen bei nahezu allen Untersuchungen auf einem hohen Niveau. In der überwiegenden Anzahl der in Tabelle 3 aufgeführten Studien wurden für Androstenon Heritabilitäten in der Größenordnung 0,5 bis 0,7 und für Skatol zwischen 0,3 und 0,5 geschätzt. Die etwas niedrigere Heritabilität für Skatol ist möglicherweise Ausdruck der höheren Beeinflussbarkeit von Skatol durch Umweltfaktoren wie Fütterung, Haltungsform und Hygiene-Management, mit Auswirkungen auf die bakterielle Metabolisierung des L-Tryptophans im Blind- oder Dickdarm der Masteber. Mit Ausnahme von BAES et al. (2011b) wurden alle Untersuchungen von Androstenon und Skatol mit Hilfe von Rückenspeckproben aus dem Schlachtkörper von Mastebern laboranalytisch untersucht. In der Untersuchung von BAES et al. (2011b) wird Androstenon und Skatol mit Hilfe einer Nackenspeckprobe gemessen, die mit Hilfe einer Biopsieeinrichtung bei lebenden Ebern gewonnen wurde. Auch die so erfassten Ebergeruchsmerkmale weisen hohe Erblichkeiten zwischen 48 und 52 % auf.

Tab. 3: Erblichkeitsgrade von Androstenon, Skatol und Indol

Quelle	Land	Androstenon	Skatol	Indol
SELLIER et al. (2000)	F	0,50		
GRINDFLEK et al. (2001)	N	0,25 – 0,88	0,37 – 0,41	0,27
TAJET et al. (2006)	N	0,50 – 0,60	0,23 – 0,56	
VARONA et al. (2005)	E	0,59 – 0,73	0,74 – 0,89	
BERGSMÄ et al. (2007)	NL	0,75	0,44	0,32
MERKS et al. (2009)	NL	0,64	0,36	0,26
KNOL et al. (2010)	NL	0,69	0,53	
KARACAÖREN et al. (2010)	DK	0,47-0,49	0,54-0,55	
BAES et al. (2011b)	SUI	0,48	0,52	0,55
WINDIG et al. (2012)	NL	0,54	0,41	0,33

Bisher gibt es nur eine Untersuchung von WINDIG et al. (2012), in der die genetische Fundierung für Ergebnisse humansensorischer Untersuchungen veröffentlicht wurde. Die geschätzten Heritabilitäten für die Noten eines fünfstufigen Beurteilungssystems lagen je nach den neun an der Studie beteiligten Testpersonen zwischen 0,12 und 0,19. Trotz relativ niedriger Heritabilitäten sind unter Berücksichtigung der relativ kostengünstigen Erfassbarkeit auch bei Verwendung dieses subjektiven Merkmals hohe Zuchtfortschritte erreichbar (WINDIG et al. 2012).

In einer Reihe von Untersuchungen wurden positive Beziehungen zwischen Androstenon und Skatol publiziert. Diese Beziehung lässt sich, wie bereits in Abschnitt 2.1.1 beschrieben, aus einem physiologischen Blickwinkel durch die hemmende Wirkung von Androstenon auf den Skatolabbau erklären (DORAN et al. 2002). In neueren Untersuchungen schwanken die phänotypischen und genetischen Korrelationen zwischen nahe 0 (ZAMARATSKAIA et al. 2005a) und 0,3-0,4 (BERGSMA et al. 2007; MERKS et al. 2009; TAJET et al. 2006; WINDIG et al. 2012). Eine stärkere phänotypische Beziehung konnte zwischen Skatol und Indol identifiziert werden. Hier lagen die Werte über 0,75 (u.a. BAES et al. 2011b; WINDIG et al. 2012). Dies war zu erwarten, da beide Komponenten durch die gemeinsame biologische Vorstufe L-Tryptophan miteinander verbunden sind (CLAUS et al. 1994).

Aufgrund der überwiegend hohen Heritabilitäten lässt sich vermuten, dass einzelne wichtige Gene mit großer Wirkung den Ebergeruch beeinflussen. Diese Erwartung hatte eine Reihe von Arbeitsgruppen motiviert, molekulargenetische Studien zum Thema Ebergeruch durchzuführen. In diesen Arbeiten wurde versucht, die für den Ebergeruch verantwortlichen Stoffwechselwege und die beteiligten Genorte zu identifizieren. Grundlage dieser Studien bildeten zunächst einzelne genetische Mikrosatelliten-Marker, die möglichst gleichmäßig über das gesamte Schweinegenom verteilt waren und relativ aufwändig untersucht wurden. Durch die Etablierung von SNP-Array Techniken kann eine vergleichsweise größere Anzahl Marker kostengünstig analysiert werden. Hierdurch scheint die genomische Selektion in der praktischen Schweinezucht in Zukunft eine ähnliche Bedeutung wie in der Rinderzucht zu erlangen (GODDARD und HAYES 2009; GÖTZ 2011; LILLEHAMMER et al. 2011; SIMIANER 2009).

Grundlegende molekulargenetische Arbeiten zum Thema Ebergeruch wurden von LEE et al. (2004), QUINTANILLA et al. (2003) und VARONA et al. (2005) mit Hilfe von Mikrosatelliten Markern durchgeführt. QUINTANILLA et al. (2003) und LEE et al. (2004)

identifizierten bei unterschiedlichen Rassen mehrere Quantitative Trait Loci (QTL) auf den porcinen Chromosomen (SSC) 2, 3, 4, 6, 7, 9 und 14, die signifikant mit dem Androstenonniveau im Rückenspeck von Ebern assoziiert waren. Die identifizierten QTLs auf SSC7 erklärten dabei bis zu 14,5 % der phänotypischen Varianz des Androstenongehaltes. VARONA et al. (2005) konnten in ihren Untersuchungen lediglich ein QTL für Skatol auf SSC6 identifizieren.

In der Genomweiten Assoziationsstudie (GWAS) von DUIJVESTELJN et al. (2010) und RAMOS et al. (2011) auf der Basis von SNP-Arrays wurden für Androstenon signifikante QTLs in den Regionen SSC1 und SSC6 und für Skatol auf SSC6 identifiziert. GRINDFLEK et al. (2011) fanden in ihrer GWAS mehrere QTLs jeweils für Androstenon und Skatol sowie ein QTL auf SSC7, der sowohl Androstenon als auch Skatol und Indol beeinflusst. Diese Chromosomenposition beinhaltet das Kandidatengen *Cytochrom P450 1A1* (CYP1A1), das sowohl in der Metabolisierung von Skatol als auch in der Steroidogenese involviert (FAN et al. 2010; LANZA und YOST 2001) ist.

Durch Erhöhung der Markerdichte und Sequenzanalysen wurde mittlerweile eine Reihe von Genen mit bekannten biologischen Wirkungsmechanismen gefunden. Von Bedeutung ist dabei eine Reihe von Kandidatengenen, die insbesondere am Metabolismus von Androstenon und Skatol in der Leber beteiligt sind. So wurde die Beteiligung der Gene *Cytochrome P450 2E1* (CYP2E1) und *Sulfotransferase 1A1* (SULT1A1) am Abbau von Skatol in den Arbeiten von BABOL et al. (1999), LIN et al. (2006), MÖRLEIN et al. (2012b), SKINNER et al. (2005), SQUIRES & LUNDSTRÖM (1997) (CYP2E1) und LIN et al. (2004) (SULT1A1) nachgewiesen. In ähnlicher Weise bestätigen LIN et al. (2005) und PEACOCK et al. (2007) die Bedeutung der Gene *Cytochrom B5* (CYB5) und *Cytochrom b5A* (CYB5A) an der Metabolisierung des Androstenons in der Leber. In der Studie von GUNAWAN et al. (2013) wurden mittels „RNA deep sequencing“ in Leber- und Hodengewebe die Gene IRG6, MX1, IFIT2, CYP7A1, FMO5 und KRT18 als potentielle Kandidatenmarker für den Androstenongehalt beim Eber identifiziert. Diese unterschiedlich regulierten Gene spielen bei metabolischen Prozessen wie dem Lipidmetabolismus, der Biochemie der kleinen Moleküle sowie dem molekularen Transport eine Rolle (GUNAWAN et al. 2013).

2.4.3 Antagonismus zwischen der Fruchtbarkeit und Ebergeruch

Androstenon wird im Eberhoden in enger Verknüpfung mit anderen Sexualsteroiden, Androgenen und Östrogenen produziert. Aus diesem Grund sind antagonistische Beziehungen zwischen Androstenon und Merkmalen der Reproduktion wahrscheinlich (CLAUS et al. 1994). Diese Erwartung findet ihre Bestätigung in den phänotypischen Korrelationen (r_p) zwischen Androstenon und Hodengewicht ($r_p = 0,19-0,50$), Nebenhodengewicht ($r_p = 0,13-0,50$), Speicheldrüse ($r_p = 0,34-0,46$), Samenblase ($r_p = 0,44-0,53$) und Gewicht der Bulbourethraldrüse ($r_p = 0,28-0,72$). Die Übersichtsarbeit von BRACHER-JAKOB (2000) enthält eine Zusammenstellung der entsprechenden Versuche.

WILLEKE et al. (1987) zeigten in ihren Untersuchungen auf, dass eine Selektion auf niedrigere Androstenongehalte die Geschlechtsreife von Sauen verzögerte. Die Ergebnisse des Selektionsexperimentes über eine Generation von SELLIER & BONNEAU (1988) legten nahe, dass es trotz antagonistischer Beziehung möglich ist, den Androstenongehalt signifikant zu verringern und gleichzeitig höheres Hodenwachstum als Indikator für die Geschlechtsreife bei Jungebern zu erzielen. Allerdings führte die Selektion auf der Seite der Jungsauen zu einer nachteiligen Verzögerung des Eintretens der Geschlechtsreife. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse, wurde in einer Studie von SELLIER et al. (2000) über mehrere Generationen eine Linie auf niedrigeren Androstenongehalt, aber möglichst unveränderter Bulbourethraldrüsengröße selektiert. Als Selektionskriterium diente ein Index, der unter Verwendung der genetischen Parameter, einschließlich einer moderaten antagonistischen Beziehung zwischen Androstenongehalt und Bulbourethraldrüsengröße, den Selektionserfolg im Merkmal Bulbourethraldrüsengröße auf 0 begrenzte. Bei Anwendung eines solchen Indexes ist zu erwarten, dass eine Selektion auf niedrigen Androstenongehalt keine negativen Effekte auf die sexuelle Reife der männlichen Tiere ausübt. Die Wissenschaftler fanden jedoch heraus, dass sich der Androstenongehalt im Fett nicht oder nur minimal veränderte, während die Größe der akzessorischen Geschlechtsdrüse sich in unerwarteter Weise vergrößerte. Ursache für dieses Phänomen lag laut SELLIER et al. (2000) möglicherweise in ungenauen Schätzungen der genetischen Parameter der beiden Selektionsmerkmale und somit in fehlerhaften Zuchtwerten und ungenauen Selektionsentscheidungen. Obwohl die Autoren auf den unerwünschten Antagonismus zwischen sexueller Reifung und Andostenonsynthese hinwiesen, hielten sie bei Verwendung exakter genetischer Parameter Zuchterfolge in

beiden Merkmalskomplexen für vorstellbar. Weitere Details zu diesem Versuch folgen im Abschnitt 2.4.4.

FÀBREGA et al. (2011) untersuchten den Einfluss unterschiedlicher Haltungsformen, Schlachtgewichte und Schlachtstrategien unter anderem auf die Entwicklung der männlichen Sexualorgane und Ebergeruchskomponenten. Hierbei wurden auch die Beziehungen zwischen den Parametern der beiden Geschlechtsorgane und dem Androstenonlevel berechnet. Die Autoren fanden dabei ebenfalls eine enge positive Beziehung zwischen dem Gehalt an Androstenon, dem Gewicht und der Länge der Bulbourethraldrüse ($r_p = 0,57$ bzw. $0,54$) sowie des Hodengewichtes und -länge ($r_p = 0,42$ bzw. $0,51$) heraus.

Der überwiegende Teil dieser Untersuchungen erfolgte mit Hilfe von Versuchspopulationen mit einer begrenzten Anzahl von Tieren. Im Gegensatz dazu gibt es nur wenige, vornehmlich in niederländischen Populationen durchgeführte Untersuchungen, die sich mit der Beziehung zwischen maternaler und paternaler Fruchtbarkeit und Androstenon in realen Zuchtpopulationen beschäftigen haben.

BERGSMA et al. (2007) standen für ihre Untersuchung die Daten von rund 750 Ebern einer Vaterlinie mit jeweils 66 Ejakulaten zur Verfügung sowie die Gehalte von Androstenon, Skatol und Indol von ca. 700 Ebern der gleichen Linie. Die Autoren stellten moderat unerwünschte genetische Beziehungen (r_g) zwischen Androstenon und den paternalen Fruchtbarkeitsmerkmalen, wie Lebensdauer der Spermien ($r_g = 0,11 \pm 0,24$), Ejakulatvolumen ($r_g = 0,18 \pm 0,20$) und Spermienmotilität ($r_g = 0,32 \pm 0,20$) fest, während die Spermienkonzentration mit $r_g = -0,22 \pm 0,18$ eine erwünschte genetische Korrelation aufwies. In der gleichen Untersuchung von ENGELSMA et al. (2007) wurde die Beziehung des Ebergeruchs zu den maternalen Reproduktionsmerkmalen von 1800 Sauen mit 5300 Würfen analysiert. Hierbei wurden unerwünschte Beziehungen zwischen dem Androstenongehalt im Rückenspeck und den maternalen Fruchtbarkeitsmerkmalen Erstbesamungsalter ($r_g = -0,24 \pm 0,24$), Absetz-Konzeptions-Intervall ($r_g = -0,44 \pm 0,31$) und totgeborene Ferkel ($r_g = -0,59 \pm 0,54$) geschätzt.

In der Studie von MATHUR et al. (2011) wurde die gleiche Datengrundlage verwendet, auf der die Arbeit von WINDIG et al. (2012) ebenfalls basierte. Die Autoren fanden nur geringe und manchmal negative genetische Beziehungen von Androstenon und Skatol zu den maternalen Fruchtbarkeitsmerkmalen (Erstbesamungsalter r_g (signifikant) = $-0,10$ bzw.

– 0,13; Absetz-Konzeptions-Intervall $r_g = -0,09$ bzw. $0,11$; Verlustrate $r_g = 0,12$ bzw. $0,02$). Auch die Korrelationen zu den paternalen Fruchtbarkeitsparametern waren gering (Werte nicht angegeben).

In der Studie von MERKS et al. (2010) wurden zum einen Merkmale der Samenquantität und -qualität und zum anderen die Anzahl von lebend geborenen Ferkeln bzw. Ferkelvitalität gemessen. Die Korrelationen zwischen paternaler Fruchtbarkeit und den geschätzten Zuchtwerten für Androstenon waren nicht signifikant ($p > 0,01$). Bei Betrachtung der Beziehung zwischen maternaler Fruchtbarkeit und Androstenon waren keine eindeutigen Tendenzen erkennbar. Innerhalb der sechs untersuchten Linien schwankten die Korrelationen zwischen den entsprechenden Zuchtwerten bei den Merkmalen Anzahl lebend geborener Ferkel und Ferkelvitalität von $-0,35$ bis $+0,22$ bzw. $-0,27$ bis $+0,22$.

Niedrige Androstenongehalte können sowohl aus einer niedrigen Syntheserate als auch durch eine höhere Metabolisierung von Androstenon in der Leber erreicht werden. Aus diesem Grund sind molekulargenetische Studien von großer Bedeutung, da hier Gene identifiziert werden können, die nur beim Abbau von Androstenon von Bedeutung sind.

GRINDFLEK et al. (2011) identifizierten jeweils 14 QTLs für das Merkmal Androstenon, die gleichzeitig signifikant mit der Synthese von Östrogenen verbunden waren. In der genomweiten Assoziationsstudie von DUIJVESTIJN et al. (2010) konnte auch eine Reihe von Genen (LHA, LHB und HSD17B14) detektiert werden, die sowohl eine Rolle in der Synthese als auch in der Metabolisierung von Androstenon spielen. Eine gegenläufige Beziehung zwischen Androstenon und der Fruchtbarkeit ist demzufolge wahrscheinlich.

In den Untersuchungen von GREGER et al. (2001), MOE et al. (2007) und LE MIGNON et al. (2010) wurde das Kandidatengen *Cytochrom P450 11A1* (CYP11A1) auf Chromosom 7 identifiziert, welches bekanntermaßen die Androstenon- und Steroidsynthese katalysiert (MILLER 1995). Diese beschriebene pleiotrope Genwirkung unterstreicht ebenfalls die antagonistische Beziehung zwischen Fruchtbarkeit und Androstenonsynthese, die kaum züchterisch beeinflusst werden kann.

Im Gegensatz dazu konnte in der Studie von ROBIC et al. (2011) keine signifikante Assoziation zwischen CYP11A1 und der Androstenonkonzentration im Rückenspeck nachgewiesen werden. Die Autoren vermuteten daher keine pleiotrope Genwirkung sondern lediglich eine enge Kopplung zwischen Polymorphismen in den Genregionen, die sich in

der Nähe des CYP11A1 Gens befinden. In diesem Fall wäre eine Zucht gegen Androstenon und auf eine verbesserte Fruchtbarkeit theoretisch möglich. Diese Aussage unterstreicht die Untersuchung von MOE et al. (2009). In dieser Studie wurden mehrere SNPs innerhalb der Gene CYP2C49, CYP2D6, NGFIB und CTNND1 gefunden, die alle einen signifikanten Einfluss auf die Metabolisierung von Androstenon ausübten, aber keine Assoziation mit Merkmalen der Fruchtbarkeit (z.B. Östrogene im Blutplasma, Länge Bulbourethraldrüse) zeigten.

Im Gegensatz zu Androstenon zeigten die meisten identifizierten QTLs für Skatol keinen Effekt auf die Synthese der Geschlechtshormone, was eine Einbeziehung in Zuchtprogramme vereinfacht (GRINDFLEK et al. 2011).

2.4.4 Selektion gegen Ebergeruch

Aufgrund der züchterischen Bearbeitbarkeit der Hauptkomponenten des Ebergeruchs stellt sich die Frage nach der Anzahl Generationen, die benötigt wird, um erfolgreich gegen Ebergeruch selektieren zu können und welche Konsequenzen dies auf andere Merkmale, insbesondere Fruchtbarkeitsparameter haben würde. Diese Frage wurde in einer Reihe von Studien untersucht (DUCRO-STEVERINK 2006; MERKS et al. 2010; 2009; SELLIER und BONNEAU 1988; SELLIER et al. 2000; WILLEKE et al. 1987). Dabei wurden je nach Zusammensetzung des Zuchtziels und der verfügbaren Informationsmerkmale verschiedene Szenarien unterstellt.

Im Versuch von SELLIER et al. (2000) wurden von den insgesamt 949 Ebern der Kreuzung Large White × Landrasse die Merkmale Androstenongehalt im Fett ($\mu\text{g/g}$ Fett) und Status der Geschlechtsreife (Dicke der Bulbourethraldrüse) erfasst. Die Autoren wiesen darauf hin, dass Androgene und Östrogene für die Entwicklung der Bulbourethraldrüse verantwortlich sind und somit der sexuelle Status eines Ebers durch die Dicke der Bulbourethraldrüse beurteilt werden kann. Auf diese Zusammenhänge wurde auch in den Arbeiten von BABOL et al. (1995) und TAJET et al. (2006) hingewiesen. Die Selektion der Elterntiere erfolgte über vier Generationen auf der Basis eines Selektionsindex mit beiden Merkmalen. Hierbei wurden für die Merkmale Androstenon und Entwicklung der Bulbourethraldrüse Heritabilitäten von 0,5 bzw. 0,6 sowie eine genetische Korrelation von 0,65 unterstellt. Ziel des Selektionsexperimentes war es den Androstenongehalt im Fett zu reduzieren, ohne negative Auswirkungen auf den Status der Geschlechtsreife der Jungeber

zu erhalten. Im Laufe der Generationen konnte festgestellt werden, dass sich der Androstenongehalt im Fett nicht oder nur minimal veränderte, während sich die akzessorische Geschlechtsdrüse in unerwarteter Weise vergrößerte. SELLIER et al. (2000) begründeten den Anstieg der Größe der Bulbourethraldrüse mit der Ungenauigkeit der verwendeten genetischen Parameter der beiden Selektionsmerkmale. Möglicherweise hatten diese Ungenauigkeiten zu fehlerhaften Zuchtwerten und damit ungenauen Selektionsentscheidungen geführt. Obwohl die Autoren auf den unerwünschten Antagonismus zwischen sexueller Reifung und Andostenonsynthese hinwiesen, hielten sie bei Verwendung exakter genetischer Parameter Zuchterfolge in beiden Merkmalskomplexen für vorstellbar.

In ähnlicher Weise äußerten sich in einer früheren Studie die Autoren SELLIER & BONNEAU (1988). Bei ihrem Selektionsexperiment über eine Generation wurde der Grad der Geschlechtsreife anhand der Hodengröße, welche mittels Hodenbreite und Skrotumfläche berechnet wurde, beurteilt. Diesbezüglich standen die Daten von 223 Large White Ebern zur Verfügung. Von diesen Ebern wurde in 117 Fällen zusätzlich der Androstenongehalt mit Hilfe einer Fettbiopsie erfasst. Anhand dieser Informationen wurde eine Auswahl der Eber vorgenommen und es erfolgte eine Einteilung in zwei Gruppen zu je 4 Tieren. Die Gruppe „S“ enthielt Tiere mit niedrigen Androstenongehalten (0,10 – 0,13 µg/g Fett) und kleiner Hodengröße (65 – 81 Einheiten), und die Selektionsgruppe „L“ beinhaltete Eber, die gleichzeitig niedrige Androstenongehalte (0,09 - 0,18 µg/g Fett) und große Hoden (100 – 113 Einheiten) aufwiesen. Zusätzlich dienten zufällig ausgewählte Tiere aus einem anderen Selektionsexperiment mit höheren Androstenonkonzentrationen (0,18 – 0,55 µg/g Fett) und mittleren Hodengrößen (94 - 111) als Kontrolltiere. Die Tiere der drei Gruppen wurden an französische Landrasse × Large White Sauen angepaart und die Hodengröße und Androstenongehalt im Rückenspeck der männlichen Nachkommen (N = 225) gemessen. Bei den weiblichen Nachkommen (N = 187) wurde der Prozentsatz rauschender Jungsaunen und die Entwicklung des Genitaltraktes bei der Schlachtung untersucht. Aufgrund der Ergebnisse hielten die Autoren eine Selektion gegen Androstenon ohne gravierende unerwünschte Konsequenzen für die männliche sexuelle Entwicklung für möglich. Jedoch wurde durch die Selektion eine signifikante Verzögerung des Eintretens der Geschlechtsreife bei den Jungsaunen der Gruppen S und L festgestellt. Nur 35 bzw. 37 % der Jungsaunen waren bei einem Lebendgewicht von 124 kg in der Rausche im Vergleich zu 79 % der Jungsaunen in der Kontrollgruppe.

Ähnliche Ergebnisse erzielte WILLEKE et al. (1987) in einem Selektionsexperiment in dem die Androstenongehalte von Ebern der Deutschen Landrasse am 170., 190. und 210. Lebenstag gemessen wurden. Auf der Basis der durchschnittlichen Androstenonwerte wurden die Eber 5 Generationen lang in eine positive („A+“) und negative („A-“) Linie selektiert. Ausgehend von einem mittleren Androstenongehalt von 0,53 µg/g Fett in der Generation 0, betrug der Unterschied zwischen den beiden Linien nach 5 Generationen 1,24 µg/g Fett. Dies resultierte insbesondere aus der starken Erhöhung des Androstenongehaltes in der A+ Linie. In der A- Linie blieb der Androstenongehalt bis zur 3. Generation auf einem konstanten Niveau, während nach der 3. Generation ein unerwarteter Anstieg festzustellen war. Aufgrund des gleichzeitig parallel angestiegenen Androstenongehalts der Kontrolltiere vermuteten die Autoren, dass dieser Anstieg umwelt- (saisonal-) bedingt war. Neben den Veränderungen im Androstenongehalt war bei den Sauen in der A- Gruppe ein verzögerter Eintritt in die Geschlechtsreife zu beobachten gewesen, während in der A+ Linie die Rauschesymptome 14 Tage früher einsetzten. Diese Verschiebung des Alters bei der 1. Rausche kann aus einer Selektion ohne Berücksichtigung der sexuellen Entwicklung resultieren.

Die zu erwartenden Selektionserfolge im Merkmal Ebergeruch wurden in den Modellrechnungen von Ducro-Steeverink (2006) sowie Merks et al. (2009) quantifiziert.

In der Simulationsstudie von Ducro-Steeverink (2006) wurden für die angenommenen Reinzuchtpopulationen eine Populationsgröße von 500 Sauen, 30 Besamungseber sowie 470 Produktionseber unterstellt. In der Nachkommengeneration wurden von den 3500 Eberferkeln die besten 25 % selektiert. In den Berechnungen wurden alternativ eine Heritabilität für den Ebergeruch von 0,2 bzw. 0,4 sowie eine Frequenz von geruchsbelasteten Ebern von 20 % bzw. 30 % unterstellt. Die vergleichsweise niedrigen Heritabilitäten entsprechen der genetischen Fundierung einer humansensorischen oder elektronisch unterstützten Erfassung des Ebergeruchs. Es sollten 80 % des genetischen Fortschritts in den Selektionsmerkmalskomplexen des Wachstums (Zunahme) und der Schlachtkörperzusammensetzung (Rückenspeck) bewahrt werden. Die Ergebnisse der Studie nach einem Jahr der Selektion gegen Ebergeruch ergaben je nach unterstelltem Szenarium eine Verminderung zwischen 5,7 % bis 8,6 % geruchsauffälliger Eberschlachtkörper. Nach 5 Jahren Selektion konnte der gesamte Anteil an geruchsauffälligen Tieren von den anfänglich 20 auf 3,9 % ($h^2 = 0,2$) und 0,5 % ($h^2 = 0,3$) reduziert werden, bzw. ausgehend von 30 auf 9,3 % ($h^2 = 0,2$) und 3,2 % ($h^2 = 0,3$).

In den Untersuchungen von MERKS et al. (2009) wurden drei Selektionsvarianten auf der Basis der Selektionsindextheorie betrachtet. Entweder sollte nur auf Produktionsmerkmale (tägliche Zunahme, Futtermittelverwertung, Schinken- und Kotelettgewicht) hin (Szenario 1) oder ausschließlich auf die Ebergeruchskomponenten Androstenon und Skatol hin (Szenario 3) selektiert werden. In Szenario 2 wurden beide Merkmalskomplexe unter Berücksichtigung der genetischen Parameter in Form der Indexselektion kombiniert.

Startpunkt der Berechnungen waren zwei Populationen, in der 32 % (Linie A = Duroc × Landrasse) bzw. 15 % (Linie B = Yorkshire) der Eber Ebergeruch (Grenzwerte: Androstenon < 2,56 und Skatol < 0,20 µg/g Fett) aufwies. Die geschätzten genetischen Fortschritte der Szenarios 1, 2 und 3 lagen für Androstenon (ln) bei -0,05, -0,23 bzw. -0,36 ln (µg/g Fett); für Skatol (ln) bei 0,01, -0,03 bzw. -0,08 ln (µg/g Fett). Hieraus resultiert eine Reduktion der Anteile Eber mit Ebergeruch von -1,2, -5,4 bzw. -8,7 % je Generation. Bei Szenario 3 sank nach 4 Generationen der Anteil geruchbelasteter Eber auf ein Minimum von 2 % (Linie B) bzw. 3 % (Linie A). Im Gegensatz dazu sind die Zuchterfolge Ebergeruch in Szenario 2 geringer, jedoch stellt diese Variante einen Kompromiss zwischen einer effektiven Reduktion im Anteil geruchsbelasteter Eber und Beibehaltung des genetischen Fortschritts in den übrigen Selektionsmerkmalen dar.

In den Modellkalkulationen von MERKS et al. (2010) wurde versucht, die Auswirkungen einer Selektion gegen Ebergeruch unter Berücksichtigung weiterer Selektionsmerkmale, wie Fleischleistung und Fruchtbarkeit, zu quantifizieren. Zu diesem Zweck wurden historische Daten und Zuchtwerte aus einer Niederländischen Zuchtorganisation (Topigs) ausgewertet. Zur Charakterisierung des Ebergeruchs wurden bei 2139 Reinzucht- und Kreuzungsebern die Androstenon- und Skatolkonzentration im Rückenspeck gemessen. Diese Prüftiere stammten von Ebern der Linien Piétrain, Duroc und Large White ab, für die entsprechende Zuchtwerte für die Ebergeruchskomponenten geschätzt wurden. Darüber hinaus standen die Zuchtwerte in den Merkmalskomplexen maternale Fruchtbarkeit und Fleischleistung aus den Zuchtwertschätzroutinen des Topigs Zuchtunternehmens sowie Rohmittelwerte aus der Beurteilung der Spermaqualität von diesen Ebern zur Verfügung.

Bezüglich der Korrelationen zwischen den Zuchtwerten Ebergeruch und den Zuchtwerten von zwei maternalen Fruchtbarkeitsmerkmalen ergab sich bei Betrachtung der jeweiligen Linien ein uneinheitliches Bild. Die Beziehung zwischen Androstenon und Anzahl geborener Ferkel respektive Vitalität der Ferkel schwankte zwischen -0,35 und 0,22 bzw. zwischen -0,27 und 0,22. Für Skatol erstreckten sich die Differenzen zwischen den

Korrelationen der einzelnen Linien von -0,15 und 0,41 (Anzahl geborener Ferkel) bzw. -0,24 und 0,59 (Vitalität der Ferkel). Die Korrelationen zwischen den Zuchtwerten der Ebergeruchskomponenten und den Rohwerten der Spermaqualität und -quantität waren nicht signifikant, mit Ausnahme der Beziehung zwischen dem Skatol und Sterblichkeit nach einem Tag ($r = 0,18$).

Um die Konsequenzen einer Selektion gegen Ebergeruch abschätzen zu können, wurden ca. 200 Eber aufgrund ihrer Zuchtwerte für die Ebergeruchskomponenten und eines daraus konstruierten Indexes (mit einer Gewichtung von 5,3 für den Zuchtwert Androstenon und 8,7 für den Zuchtwert Skatol) in drei Gruppen eingeteilt. Die beiden Geruchs-Extremgruppen beinhalteten die jeweils 10 % besten (NI = Niedriger Index) bzw. 10 % schlechtesten (HI = hoher Index) Eber. Die Mittelwerte dieser Gruppen in den genannten Merkmalskomplexen verdeutlichen die Konsequenzen, die in der Nachkommengeneration dieser Eber zu erwarten sind. Dabei zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Ebergeruchskomponenten. In der NI-Gruppe verringerte sich der Androstenon- und Skatolgehalt im Mittel um 0,44 bzw. 0,10 $\mu\text{g/g}$ Fett, wohingegen in der HI-Gruppe der Androstenongehalt um 0,75 $\mu\text{g/g}$ Fett und der Skatolgehalt um 0,15 $\mu\text{g/g}$ Fett anstieg. Es zeichnete sich auch eine signifikante Überlegenheit der Eber mit niedrigen Geruchszuchtwerten (NI) im Merkmal Futterverwertung (-0,11) gegenüber der HI Gruppe ab, während die tägliche Futtermittelaufnahme (-157 g/Tag) und tägliche Zunahme (-39 g/Tag) signifikant reduziert war. In den Merkmalskomplexen maternale und paternale Fruchtbarkeit konnten in der Regel keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Dies galt sowohl für die Merkmale Anzahl geborener Ferkel ($p = 0,74$), Absetz-Konzeptions-Intervall ($p = 0,23$) und Trächtigkeitsdauer ($p = 0,77$) als auch für alle erfassten Merkmale der Spermaqualität und -quantität. Beachtenswerte Ausnahmen wurden für das Merkmal Ferkelverluste festgestellt, bei dem die Zuchtwerte in der NI-Gruppe signifikant schlechter waren als in der HI-Gruppe (0,08 % zu -2,65 %), sowie für das Merkmal Erstbesamungsalter, das in der gleichen Gruppe tendenziell ($p = 0,07$) höher ausfiel.

Bei den bisher beschriebenen Studien wurde der Ebergeruch mit Hilfe der objektiv erfassbaren Leitkomponenten Androstenon und Skatol beurteilt. In den Untersuchungen von Knol et al. (2010) und Windig et al. (2012) erfolgte die Beurteilung des Ebergeruchs subjektiv von geschulten Testpersonen in Form des sogenannten „Human Nose Scorings“ (HNS). Dabei wurde die Geruchsbelastung von Speckproben mit Hilfe eines 4-Punkte

Schemas (0 = nicht wahrnehmbarer Ebergeruch; 4 = sehr starker Ebergeruch) subjektiv von geschulten und erfahrenen Testpersonen beurteilt. In beiden Untersuchungen lagen die Erblichkeitsgrade des HNS mit 0,12 bis 0,23 (siehe Abschnitt 2.4.2) auf mittlerem Niveau. Die genetischen Korrelationen zwischen dem HNS und den Komponenten Androstenon und Skatol lagen sowohl in der Studie von Knol et al. (2010) ($r_g = 0,63$ bzw. $0,67$) als auch bei Windig et al. (2012) ($r_g = 0,43 - 0,79$ bzw. $0,67 - 1,00$) auf einem zufrieden stellenden Niveau. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wiesen Windig et al. (2012) darauf hin, dass eine Selektion auf der Basis von HNS ähnlich effektiv sein wird, wie eine direkte Selektion im Hinblick auf die Leitkomponenten des Ebergeruchs Androstenon und Skatol selbst.

Windig et al. (2012) berechneten mit Hilfe der Index Selektionstheorie, dass bei einem Eber mit einem auf Androstenon und Skatol geprüften Voll- und 19 geprüften Halbgeschwistern eine Genauigkeit des Indexes von 55 % erreicht wird. Bei Verwendung des HNS Systems wurde eine höhere Anzahl Vollgeschwister und Halbgeschwister geprüft. Die Genauigkeit bei 4 Voll- und 76 Halbgeschwistern erreichte ebenfalls einen Wert von 53 %, obwohl die Erblichkeit für HNS deutlich niedriger lag als bei Androstenon und Skatol.

3 Material und Methoden

3.1 Tiermaterial

In Deutschland ist der überwiegende Teil der kommerziell geschlachteten Schweine eine Kreuzung aus Piétrain (Pi) \times Kreuzungssau (F1). Um den Anteil von Eberschlachtkörpern mit Ebergeruch dieses dominierenden Mastendprodukts zu quantifizieren, wurden 1010 Pi \times F1 Kreuzungseber untersucht. Die Piétrain Väter dieser Kreuzungseber stammten aus den Besamungsstationen der Genossenschaft zur Förderung der Schweinehaltung eG (GFS), des Besamungsvereins Neustadt an der Aisch e.V. (BVN) und der Besamungsstation des Schweinezuchtverbandes Baden-Württemberg e.V. (SZV). Um die relevante genetische Linienvielfalt der Rasse Piétrain innerhalb Deutschlands weitestgehend abzubilden, wurde eine Auswahl von 136 möglichst unverwandten Piétrain-Besamungsebern aus den verschiedenen Zuchtlinien der Besamungsstationen bzw. der angeschlossenen Zuchtorganisationen getroffen. Diese Besamungseber wurden an F1 Sauen angepaart, deren genetische Zusammensetzung je nach Besamungsstation unterschiedlich war. Bei den F1-Sauen, die an KB-Eber der Besamungsstationen GFS, BVN und SZV angepaart wurden, handelte es sich um Kreuzungssauen vom Typ Deutsches Edelschwein (DE) \times Deutsche Landrasse (DL) des niederländischen Zuchtunternehmens Topigs (GFS), des Bayerischen Schweinezuchtverbandes (BVN) und German Genetic Sauen vom Typ Large White (LW) \times [Leicoma (Lc) \times DL] (SZV).

Die Mastendprodukte wurden in den folgenden Leistungsprüfanstalten (LPA) einer stationären Leistungsprüfung unterzogen:

- Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, Landwirtschaftskammer, Nordrhein-Westfalen (NRW) (Haus Düsse)
- Lehr- und Forschungsstation Frankenforst, Außenlabore Agrar, Geodäsie, Ernährung (AGE), Universität Bonn, NRW (Frankenforst)
- Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg, Landesanstalt für Schweinezucht, Baden-Württemberg (Boxberg)
- Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Schweinehaltung Schwarzenau, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Bayern (Schwarzenau)
- Versuchsstation Grub, LfL, Bayern (Grub)

Die Prüfstationen wurden ausschließlich mit Nachkommen einer Besamungsorganisation beschickt. Die Zuordnung und die Kodierung der einzelnen Stationen (I bis V) ist der Tabelle 4 zu entnehmen.

Neben den unkastrierten männlichen Kreuzungstieren wurden in einzelnen Prüfanstalten (Abb. 1) zeitgleich auch 432 Sauen und 107 Kastrate der gleichen Herkunft geprüft.

Um eine Aussage über den Einfluss der Vaterrasse treffen zu können, wurden neben den Pi-Besamungsbebern die Nachkommen von Duroc Endstufenebern \times Kreuzungssau in der LPA Boxberg stationär leistungsgeprüft. Insgesamt wurden 41 Masteber untersucht, die von 4 KB-Ebern abstammten. Diese Tiere wurden nur zur Auswertung des Rasseneinflusses verwendet.

Tab. 4: Anzahl (N) in der Studie verwendeten Schlachtschweine, abhängig von LPA, Besamungsstation und Geschlecht

LPA	Kodierung	KB-Station	Sauen	Kastrate	Eber	Σ
Schwarzenau	I	BVN	127	0	160	287
Grub	II		162	0	172	334
Boxberg	III	SZV	106	107	204	417
Haus Düsse	IV	GFS	0	0	284	284
Frankenforst	V		37	0	190	227
	Σ		432	107	1010	1549

3.2 Fütterung und Haltung

Die Masteber wurden in den genannten Prüfstationen nach den Regeln der stationären Fleischleistungsprüfung leistungsgeprüft (ZDS 2007). Die Fütterung erfolgte dabei ad libitum durch Selbstfütterungseinrichtungen mit einem standardisierten Prüfungsfutter, bestehend aus einer Mischung aus Weizen, Gerste, Sojaschrot und einer Mineral-/ Vitamin-/ Aminosäurenmischung. Es wurden 16,0 % Rohprotein, 1,0 % Lysin, 0,6 % Methionin und Cystin, 0,6 % Threonin und 13,4 MJ ME/kg angestrebt.

Die Mastperiode begann mit einem durchschnittlichen Anfangsgewicht von 25 kg. Um den Einfluss des Gewichtes der Masteber auf die Ausprägung des Ebergeruchs zu quantifizieren, wurde jeweils die Hälfte aller Schlachteber bis zu einem erwarteten Schlachtgewicht von 85 kg bzw. 95 kg gemästet. Die Zuordnung zu den Gewichtgruppen erfolgte zu Beginn der Mast.

Zur Ermittlung des Einflussparameters Tageslichtdauer wurden die Eber während unterschiedlicher Jahreszeiten geprüft. Die Einteilung erfolgte in eine Periode mit abnehmender bzw. zunehmender Tageslichtdauer (siehe Abb. 1). Eine Ausnahme bildete die LPA Boxberg, in der aus organisatorischen Gründen die Eber in drei Durchgängen gemästet wurden.

Die Haltung der Eber erfolgte in den Leistungsprüfanstalten in Bayern bzw. in der LPA Boxberg sowie im ersten Durchgang in Haus Düsse in Gruppenhaltung mit Vollspaltenboden und einer Gruppengröße von 12 bis 14 Tieren (Grub, Schwarzenau, Boxberg) bzw. von 22 Tieren (Haus Düsse). In der Versuchsstation Frankenforst konnten die Tiere nur einzeln auf Teilspaltenböden aufgestellt werden. Um den Einfluss der Haltungssysteme Gruppen- und Einzelhaltung beurteilen zu können, wurden die Eber im Haus Düsse während des 2. Durchgangs sowohl in Gruppen- (22 Tiere je Gruppe) als auch in Einzelhaltung aufgestellt.

Mit Ausnahme von Haus Düsse und Frankenforst (1. Durchgang) wurden in allen LPAs neben den Ebern zeitgleich Sauen geprüft. Darüber hinaus war es in der LPA Boxberg möglich zusätzlich Kastrate einer Leistungsprüfung zu unterziehen.

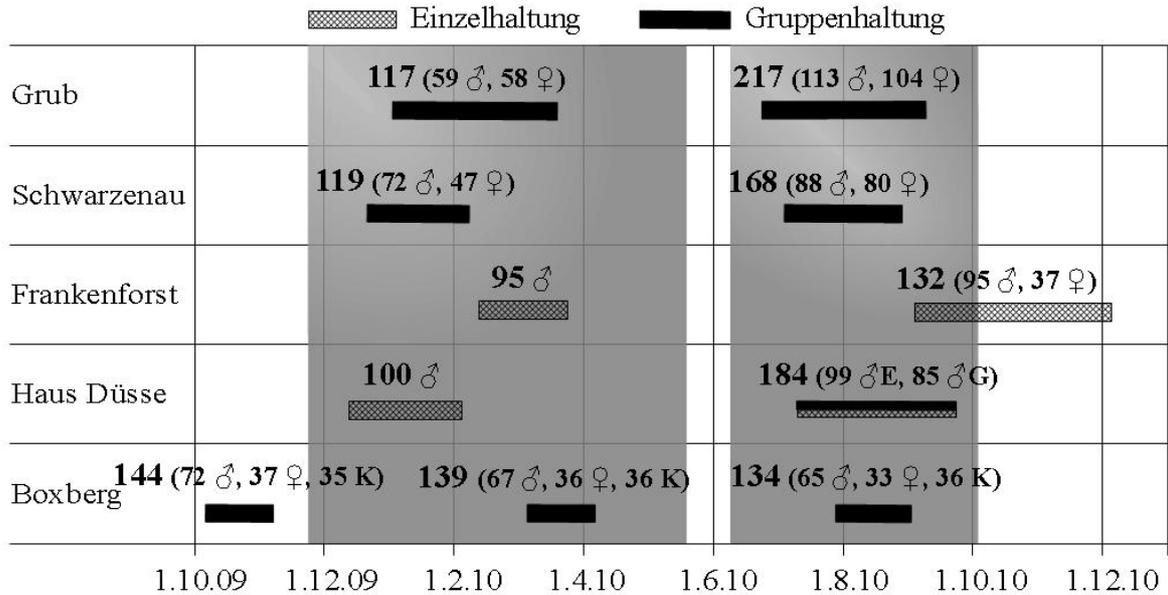


Abb. 1: Chronologischer Ablauf der Schlachtung aller LPAs, mit Anzahl weiblicher (♀), männlicher unkastrierter (♂) und männlicher kastrierter (K) Schweine, unterteilt in Einzel- (E) und Gruppenhaltung (G). Die beiden grau unterlegten Flächen symbolisieren die beiden Mastdurchgänge.

3.3 Schlachtung

Der Zeitraum der Schlachtungen der Mastendprodukte erstreckte sich zwischen Oktober 2009 und Dezember 2010 in je nach LPA unterschiedlichen Schlachtstätten. Der chronologische Ablauf der einzelnen Schlachtungen sowie die Zuordnung der Leistungsprüfanstalt zur angegliederten Schlachtstätte ist der Abbildung 1 bzw. der Übersicht in Tabelle 5 zu entnehmen.

Tab. 5: Übersicht: Beteiligte Leistungsprüfanstalten und Schlachtstätten

LPA	Schlachtstätte
Haus Düsse	Schlachthof Hamm Uentrop der Firma Westfleisch eG.
Frankenforst, 1. Durchgang ^{*)}	Schlachthof Gelder, Firma Heinrich Manten
Frankenforst, 2. Durchgang	Schlachthof Hamm Uentrop der Firma Westfleisch eG.
Schwarzenau:	angegliederter Versuchsschlachthof
Grub	angegliederter Versuchsschlachthof
Boxberg	landeseigener Schlachthaus in Forchheim

*) Der Wechsel des Schlachthofes der LPA Frankenforst war aus organisatorischen Gründen (Sperrbezirk aufgrund von Wildschweinepest) notwendig.

3.4 Probeentnahme und Merkmalerfassung

3.4.1 Fleischleistung

Die Merkmalerfassung im Schlachthof und in den Prüfanstalten erfolgte nach den Richtlinien des Zentralverbandes der Deutschen Schweineproduktion (ZDS) und des Ausschusses für Leistungsprüfung und Zuchtwertschätzung (ALZ) (2007) für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein vom 04.09.2007. Details sind dieser Richtlinie zu entnehmen. Zusätzliche Merkmale, die unmittelbar nach der Schlachtung erhoben wurden, sowie Unterschiede zwischen den LPAs in der Merkmalerfassung sind den folgenden Beschreibungen zu entnehmen.

Apparative Klassifizierung:

Die Grundlage für die Einstufung in das gemeinschaftliche Handelsklassenschema bei Schweinen bildeten die durch die computergestützten Klassifizierungsgeräte ermittelten prozentualen Muskelfleischanteile der Schlachtkörper, welche in Boxberg, Grub und Schwarzenau unter Verwendung des Hennessy-Klassifizierungsgerätes und in Frankenforst und Haus Düsse mittels des AutoFOM-Gerätes erfolgte.

Tropfsaftverlust:

Bezüglich der Bestimmung des Tropfsaftverlustes (Tsv) kamen verschiedene Messmethoden zum Einsatz. Die beiden LPAs aus Bayern wendeten die „Gruber Methode“ an, bei welcher eine Schutzgasverpackung einer SB-Schale inklusive Probe zum Einsatz kam, und der Tsv nach 48 Stunden bestimmt werden konnte (DODENHOFF et al. 2011). In Boxberg wurde die sogenannte „Beutel-Methode“ verwendet (HONIKEL 1998), und in NRW wurde der Tsv mit Hilfe der EZ-DripLoss Methode ermittelt (RASMUSSEN und ANDERSSON 1996). Beide zuletzt genannten Methoden lieferten das Ergebnis schon nach 24 h.

Merkmale des Ebergeruchs:

Zur Bestimmung der Hauptkomponenten des Ebergeruchs wurden nach der Schlachtung (24 h p.m.) Rückenspeckproben (ca. 50-100 g) aus dem Nackenbereich (6./7. Rippe, cranial) der männlichen Schlachtkörper entnommen. Um Verflüchtigungen von Ebergeruchsstoffe zu vermeiden, wurden die Proben in Alufolie eingewickelt, vakuumverpackt und bei -18 °C bis zur Analyse zwischengelagert. Die Referenzanalytik bezüglich der Quantifizierung der Ebergeruchsstoffe wurde im Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie in Schmallenberg durchgeführt. Sie wird im nachfolgenden Abschnitt 3.5 näher erläutert.

3.4.2 Fruchtbarkeit

Maternale Fruchtbarkeit:

Zur Charakterisierung der maternalen Fruchtbarkeit dienten die in den Sauenplanern der Herdbuchbetriebe gespeicherten Informationen von ca. 15340 weiblichen Reinzuchtverwandten der eingesetzten Besamungseber. Seitens der verwandten Reinzuchtsauen, konnte auf insgesamt ca. 51520 Zwischenwurfzeiten und Anzahl lebend geborener Ferkel, 11550 Erstferkelalter bzw. 14460 Anzahl abgesetzter Ferkel zurückgegriffen werden.

Paternale Fruchtbarkeit:

Die Beurteilung der paternalen Fruchtbarkeit erfolgte im Rahmen der Routinebeurteilung der Spermaqualität der 136 KB-Eber in den Besamungsstationen. Von diesen KB-Ebern standen insgesamt ca. 9820 Sprungdaten zur Verfügung, bei welchen Volumen und Dichte

des Spermas erfasst wurden, wobei der Anteil an vorwärtsbeweglichen Spermien (Spermamotilität) nur bei etwa 6930 Sprüngen bestimmt wurde.

Um die Aussagekraft von Hodenmaßen bezüglich des Ebergeruchs feststellen zu können, wurden am Schlachttag selber bzw. 24 h p.m. die Testikel dem Schlachtkörper entnommen. Die Länge, Breite und Gewicht eines jeden Hodens wurde ohne Skrotum und Epididymis (Nebenhoden) festgehalten (Abb. A1, Appendix).

3.5 Referenzanalyse von Androstenon, Skatol und Indol im Fett

Die quantitative Bestimmung der drei Hauptkomponenten des Ebergeruchs wurde vom Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie (IME) in Schmallenberg durchgeführt. Von den Rückenspeckproben, welche zuvor im Schlachthaus gesammelt wurden, wurden zu Beginn die Haut und die dritte (innere) Fettschicht entfernt. Für die Messung wurde insgesamt etwa 4 g Probenmaterial benötigt, welche an fünf verschiedenen Stellen der Eingangprobe entnommen wurden. Diese Proben wurden im nächsten Schritt in einer Mikrowelle erhitzt, gefolgt von Separations-, Ausfrierungs- und Zentrifugationsschritten. Danach wurden die vorbereiteten Proben entweder direkt analysiert oder bei -20°C als Rückstellmuster gelagert.

Für die Quantifizierung von Androstenon wurde eine adaptierte Gas-Chromatographie / Massenspektrometrie-Kopplung (GC/MS) (GARCÍA-REGUEIRO und DIAZ 1989) verwendet. Die quantitative Bestimmung erfolgte bei dieser Methode auf Basis des Masse/Ladungsverhältnisses der ionisierten Komponenten. Die Nachweisgrenze befand sich bei 4 ng pro Probe (äquivalent zu 10 ng/g geschmolzenem Fett).

Der Gehalt an Skatol und Indol wurde mittels Umkehrphasen-Hochleistungsflüssigchromatographie (RP-HPLC) (DEHNHARD et al. 1993) unter Verwendung eines Fluoreszenzdetektors (FD), bestimmt. Der Skatol- bzw. Indolgehalt wurde aufgrund der Wellenlänge der emittierten Fluoreszenz der Komponenten bestimmt (HAUGEN et al. 2012; SKOOG und LEARY 1996). Die Nachweisgrenze für beide Stoffe, Skatol und Indol, lag bei 2 ng pro Probe (äquivalent zu 5 ng/g geschmolzenem Fett).

Beide Methoden wurden mit Hilfe eines statistischen Qualitätssicherungsprogrammes (SQS 2000, V 1.4, Moos) gemäß DIN 32645 auf der Basis von Kalibrierungswerten überprüft. Die Standardabweichungen der wiederholten Messungen bei beiden

analytischen Methoden befanden sich im Normbereich zwischen 1 und 5 %. Die Analytik wurde mit geschmolzenem Fett durchgeführt, und somit werden die angegebenen Konzentrationen im Rahmen dieser Arbeit auf ein Gramm geschmolzenes Fett bezogen. Detailliertere Beschreibungen der beiden verwendeten Analytikmethoden sind der Publikationen von FISCHER et al. (2011) und MÖRLEIN et al. (2012a) zu entnehmen.

3.6 Statistische Analyse

3.6.1 Faktorenbedingte Unterschiede

Zur Beantwortung der Fragestellungen wurde in der Regel der gesamte Datensatz aller Pi-Nachkommen herangezogen. In Ausnahmefällen konnten jedoch nur Teildatensätze ausgewertet werden. Grund hierfür war die zum Teil nicht kreuzklassifizierte Struktur des Datenmaterials. So konnte die Auswertung der Einflussfaktoren Haltung (Einzel-, Gruppenhaltung), Geschlecht (Sauen, Eber, Kastrate) und Vaterrasse (Pi, Du) nur mit Hilfe von LPA bzw. Durchgang spezifischen Datensätzen erfolgen (siehe Tabelle 8).

Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe fixer linearer Modelle (allgemein: $y_i = \mu + F_i + e_i$), die in den Tabellen 7 und 8 angegebenen fixen Effekte beinhalteten. Zur Auswertung wurde das SAS Softwarepaket Version 9.2 (2002-2008) und die SAS-Prozedur GLM verwendet.

Die Zuordnung der Einzelmerkmale (einschließlich verwendeter Abkürzungen) zu den jeweiligen Komplexen ist der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tab. 6: Zuordnung der Einzelmerkmale zu den jeweiligen Merkmalskomplexen

Ebergeruch, Eg			
Merkmal	Abk.	Merkmal	Abk.
Androstenon (ng/g Fett)	And	Hodenbreite (cm)	Hb
Skatol (ng/g Fett)	Ska	Hodenlänge (cm)	Hl
Indol (ng/g Fett)	Ind	Hodengewicht (cm)	Hg
Schlachtkörperzusammensetzung, Sk			
Fleischanteil, Bonn (%)	Fa, Bonn	Fleischfläche (cm ²)	Ffl
Fleischanteil, Bauch (%)	Fa, Bauch	Rückenspeckdicke (cm)	Rsd
Schlachtkörperlänge (cm)	Länge	Speckdicke über Rückenmuskelfläche (cm)	Sdrm
Fleisch : Fett Verhältnis (1:)	Ffv	Seitenspeckdicke (cm)	Ssd
Fettfläche (cm ²)	Ffl		
Mastleistungen, MI			
Ausschlachtung (%)	Aussla	Futterverwertung (kg)	Fvw
Tageszunahme (g)	Tgz	intramuskulärer Fettgehalt (%)	Imf*
Fleischbeschaffenheit, Fb			
pH ₁ , Kotelett	pH _{1Ko}	pH ₂₄ , Schinken	pH _{24Sch}
LF ₂₄ , Kotelett	LF _{24Ko}		
Maternale Fruchtbarkeit			
Abgesetzte Ferkel pro Wurf	Agf	Erstferkelalter (Tage)	Efa
Lebend geborene Ferkel pro Wurf	Lgf	Zwischenwurfzeit (Tage)	Zwz
Paternale Fruchtbarkeit			
Samendichte	Sd	Spermamotilität, Anteil	Sm
Samenvolumen	Sv	vorwärtsbewegliche Spermien,	

* Obwohl der intramuskuläre Fettgehalt (Imf) ein Merkmal der Fleischbeschaffenheit ist, wurde er jedoch aus statistischen Gründen dem Merkmalskomplex der Mastleistungen zugeordnet.

Aufgrund der fehlenden Normalverteilung der Merkmale Skatol-, Indol- und Androstenongehalt (ng/g Fett) wurden diese logarithmisch (natürlicher Logarithmus, ln) transformiert. Die im Ergebnissteil aufgeführten Signifikanzen wurden auf der Basis dieser transformierten Ebergeruchsstoffe geschätzt. Zur besseren Verständlichkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden die jeweiligen LSQ-Werte der Faktorstufen mit Hilfe der untransformierten Daten berechnet und dargestellt.

Eine Zusammenstellung der verwendeten statistischen Modelle ist den Tabellen 7 und 8 zu entnehmen. Die Auswahl der Haupt-Modellfaktoren orientierte sich an Literaturergebnissen. In den endgültigen Modellen verblieben von den potentiell möglichen Interaktionen nur diejenigen, die sich für die jeweiligen Merkmalskomplexe und Datensätze als signifikant erwiesen.

In einem ersten Schritt wurde auf der Basis der Modellfaktoren in Tabelle 7 der gesamte Datensatz statistisch analysiert. Hieraus wurden grundlegende Aussagen über die Einflussfaktoren Saison, Schlachtgewicht und -alter abgeleitet.

Tab. 7: Fixe Modellfaktoren, Auswertung $P_i \times$ Kreuzungssauen, alle Eber:

Merkmalskomplex ^{a)}	Eg	Sk	MI	Fb
Leistungsprüfanstalt (LPA)	√	√	√	√
Saison	√	√	√	
Saison \times LPA	√	√	√	
Haltungsform innerhalb LPA	√	√	√	√
Schlachttag innerhalb LPA				√
Schlachtgewicht (Kovariabel oder Klasse) ^{b)}	√	√		
Schlachtalter (Kovariabel)	√			

a) Eg = Ebergeruchskomponenten + Hodenparameter; Sk = Schlachtkörperzusammensetzung; MI = Mastleistung; Fb = Fleischbeschaffenheit (siehe Tabelle 6)

b) Zur Überprüfung des Effektes des Schlachtgewichtes wurde unter anderem der Unterschied der Komponenten des Ebergeruchs zwischen zwei Schlachtgewichtsgruppen (1. Klasse: 80-90 kg; 2. Klasse: 90-100kg) berechnet. Hierfür wurde das Schlachtgewicht nicht als Kovariabel sondern als Klasseneffekt im Modell berücksichtigt.

Spezifische Auswertungen bezüglich der Faktoren Rasse, Haltung und Geschlecht wurden mit entsprechenden informativen Teildatensätzen durchgeführt. Über die jeweils verwendeten Modellfaktoren informiert Tabelle 8.

Tab. 8: Fixe Modellfaktoren, Auswertung Teildatensätze

Auswertung / Datensatz *)	Geschlecht / 1a und 1b			Haltung / 2				Rasse / 3			
	Sk	MI	Fb	Eg	Sk	MI	Fb	Eg	Sk	MI	Fb
LPA	√	√	√								
Rasse								√	√	√	√
Haltungsform				√	√	√	√				
Schlachttag							√				√
Saison × LPA	√	√									
Geschlecht × LPA	√	√	√								
Schlachttag innerhalb LPA			√								
Schlachtgewicht (Kovariable)				√	√			√	√		
Schlachtgewicht innerhalb Geschlecht (Kovariable)	√										
Schlachtalter (Kovariable)				√				√			

*) Datensatz:

1. Auswertung Geschlecht:

a) Sauen, Eber und Kastrate: LPA III (Boxberg), alle Durchgänge,

b) Sauen und Eber: LPA I (Grub), II (Schwarzenau), alle Durchgänge und Station III, nur die letzten beiden Durchgänge

2. Auswertung Haltung:

LPA IV (Haus Düsse), 2. Durchgang, Einzel und Gruppenhaltung

3. Auswertung Rasse:

LPA III (Boxberg), 3. Durchgang, Vaterrasse Piétrain und Duroc

Bei der Auswertung des Faktors Geschlecht wurden zunächst nur die Daten der LPA III verwendet, in der Eber, Sauen und Kastrate geprüft wurden (Datensatz 1a). Zusätzlich wurden die Daten der LPA I, II und III (Datensatz 1b) zur statistischen Absicherung der Unterschiede zwischen Ebern und Sauen und der möglichen Interaktion zwischen den

Faktoren LPA und Geschlecht herangezogen. Tabelle 8 zeigt alle Modellfaktoren, welche beim Teildatensatz 1b angewendet wurden. Bei der Auswertung des Datensatzes 1a blieb der Faktor LPA als Einzel- und Interaktionsfaktor unberücksichtigt, da die Informationen nur aus einer LPA stammten.

3.6.2 Genetische Fundierung und Zuchtwertschätzung

Die genetischen Analysen erfolgten unter den Annahmen eines polygenen Modells und additiver Genwirkung. Zunächst wurden die genetische Fundierung ausgewählter Einzelmerkmale und deren genetische Beziehungen untereinander auf der Basis eines Tier-Modells geschätzt. Dabei konnten 5 Generationen verwandtschaftlicher Beziehungen zwischen den Vätern der Prüftiere berücksichtigt werden. Diese Pedigreeinformationen stammten aus den Herdbuchdateien der beteiligten Zuchtorganisationen. Die statistischen gemischten Modelle der Ebergeruchs- und Fleischleistungsmerkmale umfassten die im Abschnitt 3.6.1 beschriebenen bedeutsamen Effekte sowie die zufälligen Effekte Tier (a), Mutter (d) der geprüften Eber und Restfehler (e) (Tab. 9). Dabei wurden bei allen zufälligen Effekten eine unabhängige Normalverteilung (NV) mit einem Mittelwert von 0 und einer Varianz σ^2 unterstellt.

$$a \sim NV(0, A\sigma_a^2), d \sim NV(0, I\sigma_d^2), e \sim NV(0, I\sigma_e^2), \text{cov}(a, d) = \text{cov}(a, e) = \text{cov}(d, e) = 0.$$

Tab. 9: Fixe und zufällige Modellfaktoren, Auswertung $Pi \times$ Kreuzungssauen, alle Eber

Merkmalskomplex	Eg*	Fa, Bonn, Fa, Bauch	Tgz, Fvw, Imf	pH _{1Ko} , LF _{24Ko}
Fixe Einflussfaktoren				
Saison \times LPA \times Haltungsform	√	√	√	√
Schlachttag innerhalb LPA				√
Schlachtgewicht (Kovariable)		√		
Schlachtalter (Kovariable)	√			
Zufällige Einflussfaktoren				
Tier	√	√	√	√
Mutter	√	√	√	√
Restfehler	√	√	√	√

* Bei den hier verwendeten Androstenon- und Skatolwerten handelte es sich immer um die log-transformierte Form.

Die genetischen Beziehungen zwischen den Merkmalen der paternalen/ maternalen Fruchtbarkeit und den Ebergeruchs- und Fleischleistungsmerkmalen wurden ebenfalls multivariat mit Hilfe eines Tiermodells ausgewertet. Die Beziehung zwischen den maternalen Fruchtbarkeitsmerkmalen und den übrigen Merkmalskomplexen erfolgte dabei überwiegend über die väterlichen Großmütterleistungen der leistungsgeprüften Eber. Die genetisch statistischen Modelle der Fruchtbarkeitsmerkmale sind der Tabelle 10 zu entnehmen. Die Leistungen der Sauen in unterschiedlichen Würfen wurden als wiederholte Messungen (Faktor Sau, s) betrachtet. Die statistischen Annahmen der zufälligen Effekte Tier (a), Sau (s) und Restfehler (e) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

$$a \sim NV(0, A\sigma_a^2), s \sim NV(0, I\sigma_s^2), e \sim NV(0, I\sigma_e^2), \text{cov}(a, s) = \text{cov}(a, e) = \text{cov}(s, e) = 0.$$

Tab. 10: Fixe und zufällige Modellfaktoren, Auswertung Fruchtbarkeitsmerkmale der Piétrain Herdbuchsauen und Besamungseber:

Merkmalskomplex	Agf, Lgf	Efa	Zwz	Sd, Sv, Sm
Fixe Einflussfaktoren				
Betrieb × Wurfdatum (Jahr × Quartal)	√	√	√	
Wurfnummer	√		√	
Zwischenwurfzeit (Kovariable) innerhalb Wurfnummer	√			
Sprungdatum (Jahr × Quartal)				√
Zufällige Einflussfaktoren				
Tier	√	√	√	√
Sau	√		√	
Restfehler	√	√	√	√

Die Varianzkomponentenschätzung erfolgte mittels Residual Maximum Likelihood (REML) unter Verwendung von VCE-6, Version 6.0 (GROENEVELD et al. 2010). In multivariaten Programmläufen wurden maximal drei Merkmale gleichzeitig berücksichtigt. Die BLUP Zuchtwerte für die Ebergeruchskomponenten (Indol, Skatol, Androstenon) einschließlich deren Standardfehler wurden unter Berücksichtigung der geschätzten genetischen Parameter mit Hilfe des Softwarepakets von PEST, Version 3.1 (GROENEVELD 1990) geschätzt.

3.6.3 Zuchtplanung

Um eine Aussage über das Potential der Zucht gegen Ebergeruch zu treffen, wurden zuchtplanerische Berechnungen auf der Basis der Selektionsindextheorie (HAZEL 1943) durchgeführt. Die genetisch-wirtschaftlichen Gewichte (Indexgewichte, b-Werte) im Selektionsindex der Informationsmerkmale wurden nach folgender Formel berechnet: $b = P^{-1} \cdot G \cdot w$. Die Matrix P enthielt die phänotypischen (Ko)Varianzen für n Informationsmerkmale. G stellte die Matrix der genetischen Kovarianzen zwischen den n-Informationsmerkmalen und m Selektionsmerkmalen dar. Der Spaltenvektor w enthielt die wirtschaftlichen Gewichte der m Selektionsmerkmale.

Die Berechnung der Genauigkeit der Zuchtwertschätzung (r_{TI}) erfolgte folgendermaßen:

$$r_{TI} = \frac{\sigma_I}{\sigma_T} = \sqrt{\frac{b'Pb}{w'Cw}} = \sqrt{\frac{b'Gw}{w'Cw}}$$

C stand für die Matrix der genetischen Kovarianzen zwischen den m Selektionsmerkmalen. Der monetäre Selektionserfolg (ΔG) wurde mittels $\Delta G = i \cdot \sigma_I = i \cdot r_{TI} \cdot \sigma_T$ berechnet, mit i als Selektionsintensität.

Die notwendigen Programme wurden mittels der Software R (www.r-project.org) erstellt. Der folgende Abschnitt soll einen grundlegenden Überblick über die angewandte Methodik geben; eine detailliertere Beschreibung der verwendeten Parameter ist im Ergebnisteil 4.4.3.2 zu finden.

Ausgangspunkt der Simulation war ein Zuchtverband, dessen Zuchtziel die Merkmale Fleischanteil des Schlachtkörpers (Fa, Bonn), Tägliche Zunahme (Tgz), Futtermittelverwertung (Fvw), Anzahl abgesetzter Ferkel (Agf) sowie das Erstferkelalter (Efa) beinhaltete. Zur Verbesserung dieser Leistungen standen Informationen von 3 stationär geprüften Halbgeschwistergruppen mit jeweils 2 Vollgeschwistern sowie die Eigenleistung der Mutter des Probanden im Merkmal Agf (2 Würfe) und Efa zur Verfügung.

Die Selektionsmerkmale wurden ökonomisch unterschiedlich gewichtet, wobei die differenzierte Bedeutung der Fleisch- und Fruchtbarkeitsleistung für Mutter- und Vaterlinien in einem Kreuzungszuchtprogramm abgebildet werden sollten.

Die Festlegung der Selektionsmerkmale, des Prüfungssystems und der ökonomischen und genetischen Parameter orientierte sich an den Bedingungen der aktuellen deutschen Schweineherdbuchzucht.

Das ökonomische Gewicht für das Merkmal Efa wurde indirekt ermittelt. Es wurde so eingestellt, dass in diesem Merkmal keine unerwünschten Selektionserfolge, d. h. Verlängerung des Efas zu erwarten waren. Dies erfolgte mit Hilfe des Proportionalitätsindex (ESSL 1981). Details der verwendeten Parameter werden im Abschnitt 4.4.3.2 gegeben. Es wurde angenommen, dass die 10 % besten Eber und 50 % besten Sauen je Generation selektiert wurden.

Unter Berücksichtigung der genannten Annahme, wurden die zu erwartenden Zuchterfolge je Generation in den Zuchtzielmerkmalen berechnet. Der aufsummierte ökonomische Zuchterfolg der Einzelmerkmale stellte die Vergleichsbasis für weitere Selektionsalternativen dar (= 100 %).

In einem nächsten Schritt wurde das Merkmal Ebergeruch in Form des Androstenonwertes im Rückenspeck in das Zuchtziel aufgenommen. Dieses Merkmal wurde log-transformiert da eine rechtsschiefe bzw. linkssteile Verteilungsform zu erwarten war.

Die benötigten genetischen Parameter wurden aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit und der aktuellen Literatur ausgewählt.

Die Erfassung des Ebergeruchs wurde alternativ in 3 verschiedene Szenarien modelliert:

- a) Androstenonmessung der Biopsieprobe beim Jungeber und Vater der Jungsau,
- b) humansensorische Untersuchungen bei 10 Halbgeschwistergruppen mit jeweils 3 Vollgeschwistern, die unter Produktionsbedingungen geschlachtet wurden,
- c) Verfügbarkeit von genomischen Informationen des Jungebers und Vaters der Jungsau, mit deren Hilfe der wahre Zuchtwert des Ebers im Merkmal Ebergeruch mit einer Genauigkeit von 80 % vorhergesagt werden kann.

Für die Integration eines genomischen Zuchtwertes in die Indexformeln wurde das Verfahren von DEKKERS (2007) angewandt. Hierbei wurde der genomische Zuchtwert als zusätzliches Merkmal betrachtet, mit einer Heritabilität von 1. Hinsichtlich der benötigten Genauigkeit der Genomischen Selektion (r_{MGI}) wurde ein Wert von 80 % angenommen. Eine solche hohe Genauigkeit war bei einer Heritabilität von 0,6 und Kalibrierungstichprobe von ca. 1000 Tieren zu erwarten (DAETWYLER et al. 2010). Mit Hilfe dieser Annahmen ließen sich die genetischen Korrelationen (r_g) zwischen dem geschätzten genomischen Zuchtwertmerkmal (Q) und den übrigen Selektions- und

Informationsmerkmalen (P) berechnen. Nach DEKKERS (2007) war die genetische Korrelation zwischen dem Merkmal (P_1) und dessen geschätztem genomischen Zuchtwert (Q_1) gleich der Genauigkeit von Q_1 (r_{MG1}). Die genetische Korrelation zwischen dem Phänotyp eines zweiten Merkmals (P_2) und Q_1 war: $r_{gP2Q1} = r_{MG1} \cdot r_{gP1P2}$, mit r_{gP1P2} , der genetischen Beziehung zwischen P_1 und P_2 . Bei den entsprechenden phänotypischen Beziehungen wurden die genetischen Korrelationen mit der Wurzel der Heritabilitäten, h_1 und h_2 , der jeweiligen Merkmale P_1 und P_2 multipliziert. Somit erhielt man: $r_{gP1Q1} = h_1 r_{MG1}$; $r_{gP2Q1} = h_2 r_{MG1} \cdot r_{gP1P2}$.

Da unter den derzeitigen Marktbedingungen ein ökonomisches Gewicht für das Merkmal Ebergeruch nur schwer abgeleitet werden kann, erfolgte die Festlegung mit Hilfe des aufsummierten ökonomischen Zuchterfolges der Ausgangssituation. Das ökonomische Gewicht (w-Wert) des Selektionsmerkmals Androstenon wurde so festgelegt, dass 70 % des gesamten Selektionserfolges dieser Ausgangsvariante ohne das Zuchtzielmerkmal Ebergeruch erhalten blieb. Hierzu wurden unterschiedliche ökonomische Gewichte in -0,025 € Schritten in einem Bereich von 0 bis -10 für das Merkmal Ebergeruch in das Zuchtprogramm eingesetzt.

In einem letzten Schritt wurden die Zuchterfolge im Merkmal Ebergeruch für 20 Generationen graphisch dargestellt. Hierfür wurde von einer Population mit 50 % geruchsbelasteter Tiere ausgegangen. Die durch die Selektion veränderten Anteile an Tieren mit erhöhtem Risiko für Ebergeruch wurden mit Hilfe der Normalverteilungstheorie berechnet und dargestellt.

4 Ergebnisse

4.1 Beschreibung der Rohdaten

Ein wesentliches Ziel der Arbeit war eine Einschätzung des Anteils geruchsbelasteter Eberschlachtkörper bei marktgängigen Mastendprodukten. Die durchschnittlichen Androstenon-, Skatol- und Indolkonzentrationen aller 1010 analysierten Eber der einzelnen Leistungsprüfanstalten sind der Tabelle 11 zu entnehmen. Ebenfalls enthalten ist die Kodierung (I bis V) der einzelnen Leistungsprüfanstalten, die in dem folgenden Abschnitt verwendet wurde.

Tab. 11: Durchschnittliche Androstenon-, Skatol-, Indolkonzentrationen (\pm Standardabweichung) der einzelnen Leistungsprüfanstalten (LPA) mit deren Stationskodierung

LPA	Station	Androstenon	Skatol	Indol
Schwarzenau	I	389 \pm 429	143 \pm 144	39 \pm 37
Grub	II	397 \pm 415	114 \pm 115	43 \pm 50
Boxberg	III	346 \pm 326	209 \pm 182	49 \pm 46
Haus Düsse	IV	803 \pm 799	194 \pm 219	77 \pm 99
Frankenforst	V	1103 \pm 965	171 \pm 191	87 \pm 108
alle LPAs		632 \pm 720	171 \pm 183	61 \pm 80

Die Verteilung der gemessenen Werte für Androstenon und Skatol ist in Abbildung 2 ersichtlich. Sie zeigt die typische rechtsschiefe bzw. linkssteile Verteilungsform (Schiefe: And = 2,97; Ska = 3,12) mit einem hohen Anteil von Androstenon und Skatol Messungen, die mehr als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert entfernt sind. Dieser hohe Anteil an extremen Werten verdeutlicht sich auch in den berechneten Kurtosis-Werten von 12,5 und 15,7 für Androstenon bzw. Skatol.

Im Hinblick auf die Einführung der Ebermast ist für die Marktbeteiligten der Anteil von Eberschlachtkörpern, die ein hohes Risiko von Geruchsabweichungen aufweisen von

wesentlicher Bedeutung. Aufgrund der nach dem derzeitigen Kenntnisstand unklaren Festlegung der Grenzwerte (siehe Abschnitt 2.1.3) wurden in Abbildung 2 drei unterschiedliche Schwellenwerte für Androstenon und Skatol unterstellt. In Szenarium 1 und 2 wurden Grenzwerte für Androstenon von 500 bzw. 1000 ng/g Fett und Skatol von 250 bzw. 200 ng/g Fett unterstellt, welche in der Vergangenheit national (CLAUS et al. 1994; WEILER et al. 1995; 2000) und international (BONNEAU et al. 1992; WALSTRA et al. 1999) zur Abgrenzung von geruchsbelasteten Eberschlachtkörpern häufig verwendet wurden. Bei Anwendung dieser Grenzwerte wurden 48,1 % (Szenarium 1) bzw. 36,9 % (Szenarium 2) der Schlachtkörper als risikobehaftet eingestuft.

Neuere Studien (BONNEAU und CHEVILLON 2012; MEIER-DINKEL et al. 2013), die insbesondere bei Konsumenten durchgeführt wurden, bevorzugten eine strengere Festlegung der Grenzwerte bei Skatol und eine liberalere Grenzziehung bei Androstenon. Bei den von LUNDE et al. (2010) vorgeschlagenen Schwellenwerten für Skatol bzw. Androstenon von 150 ng bzw. 2000 ng/g Fett (Szenarium 3) befanden sich 39,6 % der Tiere in der Risikogruppe. Wie zu erwarten, nahm die Bedeutung von Skatol in der Reihenfolge der unterstellten Szenarien im Vergleich zu Androstenon deutlich zu. So war der Anteil an Schlachtkörpern, die aufgrund der Skatolbelastung diskriminiert wurden in Szenarium 1 mit 19,4 % deutlich niedriger als in Szenarium 3, in dem 37,6 % der Tiere aufgrund von Skatol in die Risikogruppe eingestuft wurden.

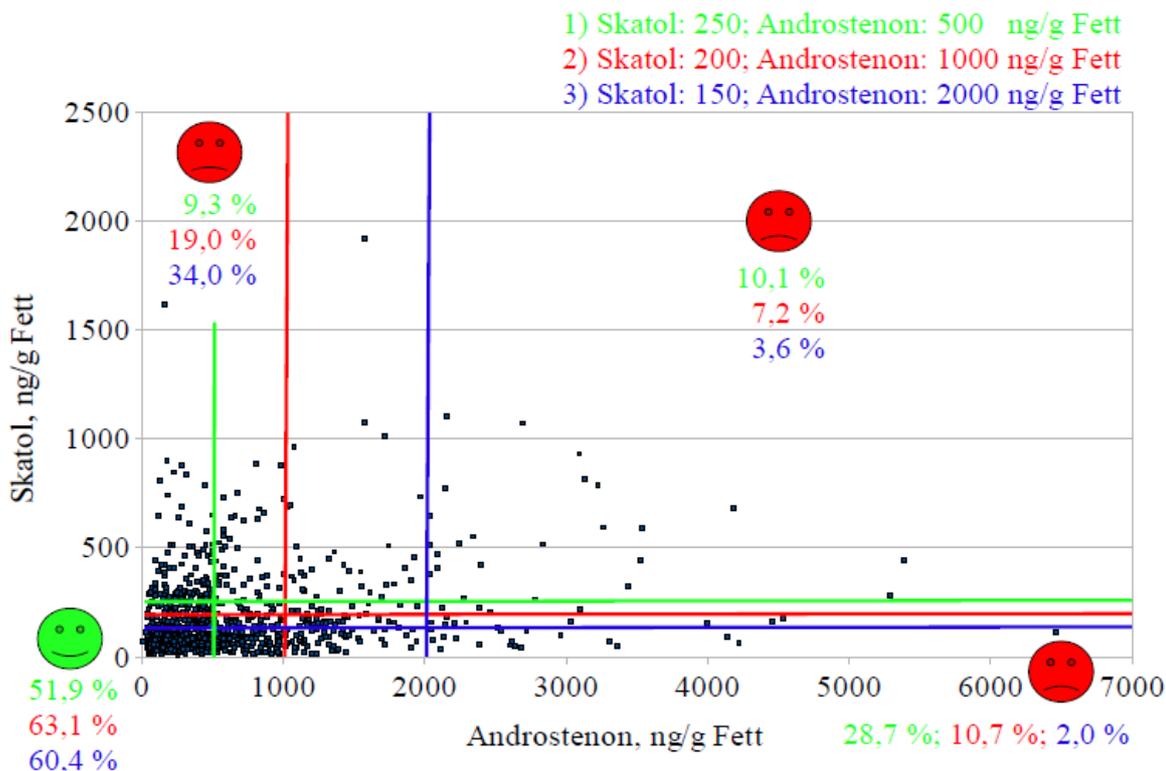


Abb. 2: Konzentrationen von Androstenon und Skatol im Rückenspeck von Ebern mit unterschiedlichen Grenzwerten (N = 1010)

Die Tabelle 11 sowie die beiden Box- und Whiskers Plot in den Abbildungen 3 und 4 geben einen LPA-spezifischen Überblick über die Verteilungen, Mittelwerte und Anteile in die jeweiligen Risikogruppen für Geruchsabweichungen in den Merkmalen Androstenon und Skatol. Die Berechnungen der Rohmittelwerte und Darstellungen erfolgten durchgangübergreifend innerhalb der LPA. Eine Ausnahme stellte die LPA IV dar, bei der die Daten getrennt nach Haltungssystem ausgewertet wurden. Grund hierfür war eine Änderung im Haltungssystem von nur Einzelhaltung in Durchgang 1 auf teilweise Gruppen- und Einzelhaltung in Durchgang 2.

Der rot gefärbte Bereich der Box und Whiskers Plot beinhaltete 50 % der Beobachtungen. Die maximale Länge der Whiskers betrug das 1,5-fache des Interquantilabstandes (Bereich mit 25-75 % der Beobachtungen = Länge der Box). Die Werte außerhalb dieses Bereichs wurden als kleine Kreise festgelegt. Die horizontale schwarze Linie innerhalb der roten Boxen beschreibt den Median der Merkmale. Die LPA-übergreifenden horizontalen roten und blauen Linien dienten als Abgrenzung der Beobachtungswerte in Geruchs-Risikogruppen. Dabei wurde für Androstenon 1000 ng /g Fett (rote Linie) bzw. alternativ

2000 ng /g Fett (blau Linie) gewählt. Die entsprechenden Grenzwerte für Skatol lauteten 160 ng (rot) bzw. 250 ng (blau) pro g Fett.

Beim Vergleich der Gehalte von Androstenon und Skatol, welche bei den Tieren der einzelnen Leistungsstationen gemessen wurden, waren erhebliche Unterschiede festzustellen. So befand sich der Anteil Eber, welche mit Gehalten von mehr als 2000 ng/g Fett auffällig waren, je nach LPA zwischen 0,5 und 14,2 %. Bei Betrachtung des alternativen Schwellenwertes von 1000 ng/g Fett war dieser Anteilsunterschied noch ausgeprägter (3,9 bis 40,0 %).

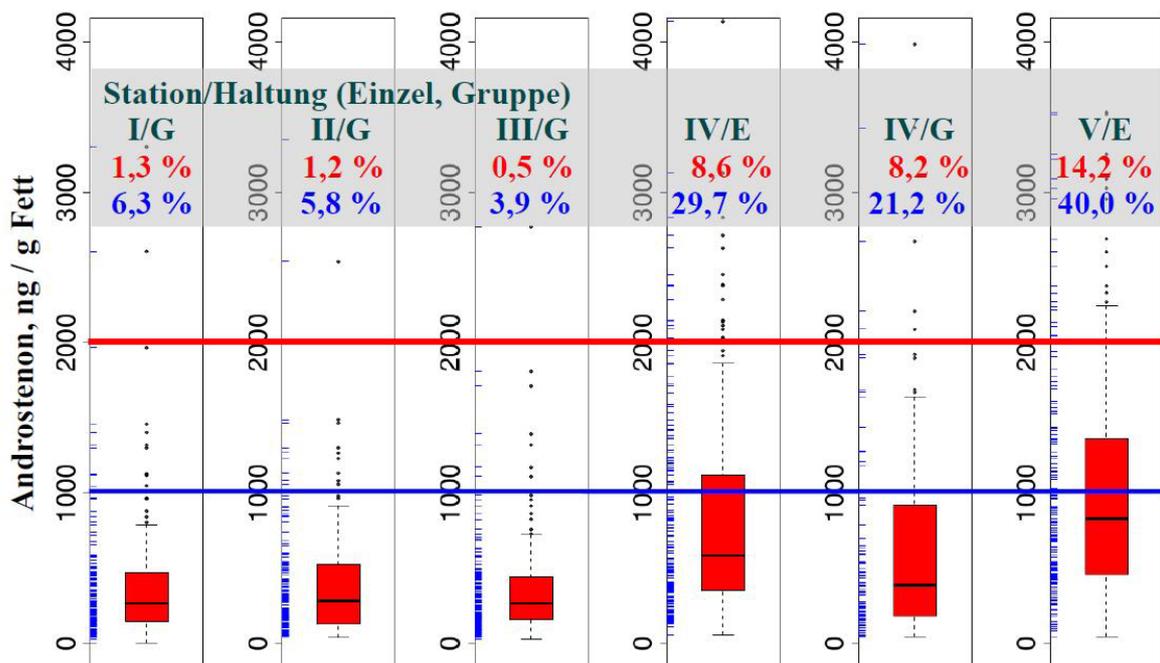


Abb. 3: Stationsbedingte Unterschiede bezüglich der Androstenongehalte aller Piétrain-Eber (N = 1010) mit zwei unterschiedlichen Grenzwerten (1000 (blau) und 2000 (rot) ng Androstenon pro g Fett)

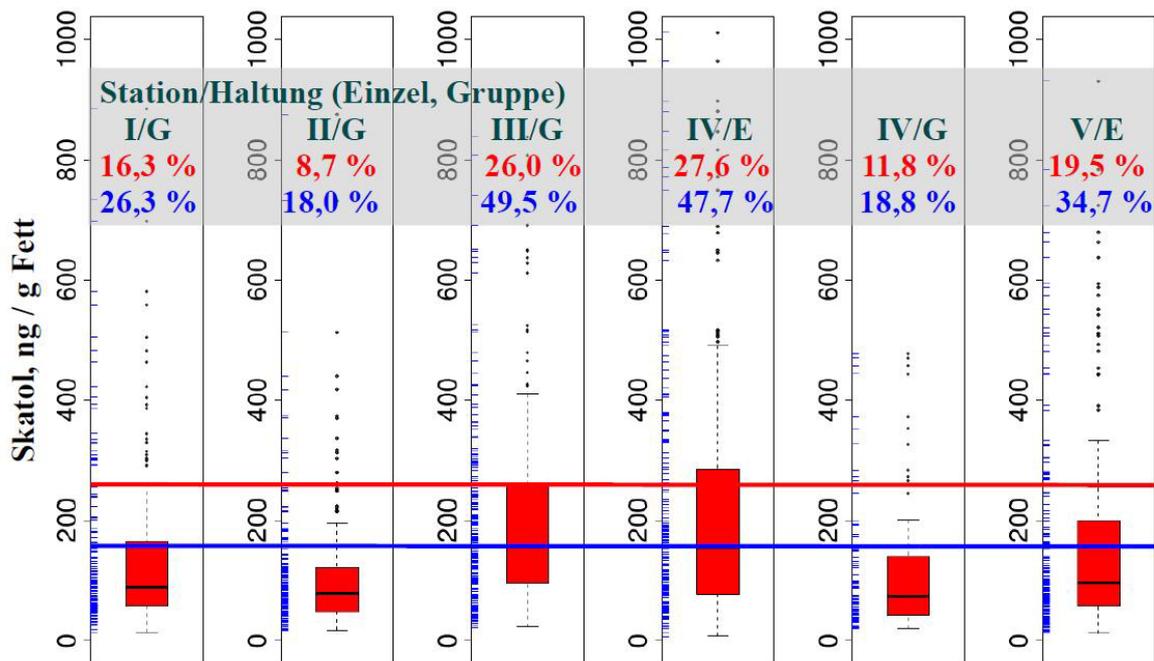


Abb. 4: Stationsbedingte Unterschiede bezüglich der Skatolgehalte aller Piétrain-Eber (N = 1010) mit zwei unterschiedlichen Grenzwerten (160 (blau) und 250 (rot) ng Skatol pro g Fett)

Ähnlich große Unterschiede zwischen den LPAs waren beim Merkmal Skatol zu beobachten. Der Anteil Eber mit Skatolkonzentrationen von mehr als 160 ng /g Fett schwankte zwischen 18,0 und 49,5 %. Bei der Auswahl des konservativeren Schwellenwertes von 250 ng/g Fett reduzierten sich erwartungsgemäß die Anteile Eberschlachtkörper mit erhöhtem Geruchsrisiko deutlich, jedoch waren nach wie vor große LPA-Unterschiede in einem Bereich zwischen 8,7 % bis 27,6 % festzustellen.

Der Anteil der potentiell geruchsbelasteten Eberschlachtkörper bei Betrachtung von Skatol und Androstenon ist in Abbildung 5 dargestellt. Dabei wurden die beiden Grenzwerte von 160 ng Skatol und 2000 ng Androstenon je Gramm Fett unterstellt. Die linke Balkengruppe (Skatol < 160 ng/g Fett; Androstenon < 2000 ng/g Fett) beinhaltete im Hinblick auf den Ebergeruch sichere Schlachtkörper. Drei LPAs (I, II, IV Gruppe) erreichten dabei Anteile zwischen 70 – 80 %, während diese Anteile in den übrigen LPAs mit Werten zwischen 50 – 60 % deutlich davon abwichen. Die dominierende Bedeutung des Skatols bei der unterstellten Definition der Grenzwerte, verdeutlichten die übrigen Balkengruppen. Bei alleiniger Überschreitung des Schwellenwertes für Skatol waren deutlich mehr Tiere (2. Balkengruppe: 14,1 bis 49,0 %) betroffen als bei alleiniger Überschreitung der

Akzeptanzgrenze für Androstenon (3. Balkengruppe: 0,0 bis 5,8 %). Zwischen 0,0 und 8,4 % der Eber wiesen Gehalte an Androstenon und Skatol auf, die gleichzeitig über beide Grenzwerte lagen (rechte Balkengruppe).

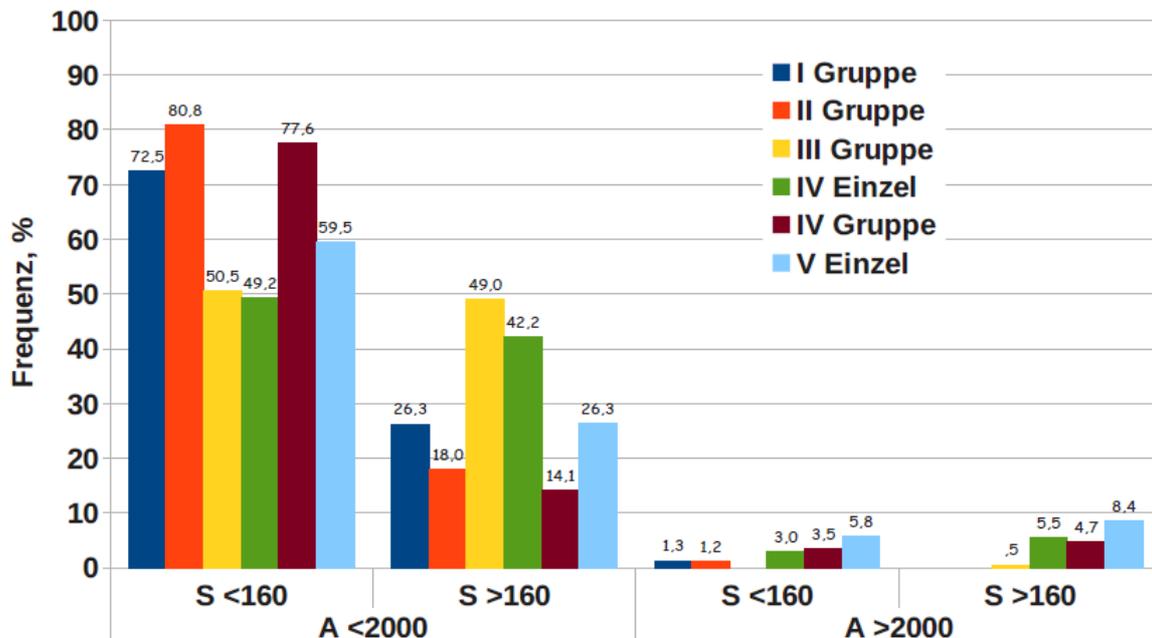


Abb. 5: Unterschiede zwischen den fünf LPAs und deren Haltungssystem bezüglich der gemessenen Androstenon- und Skatolgehalte, basierend auf den Daten aller Piétrain-Eber (N = 1010) mit den jeweiligen Grenzwerten (Androstenon: 2000 ng/g Fett; Skatol: 160 ng/g Fett)

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass sich der spezifische Einfluss der Leistungsprüfanstalten auf Merkmale des Ebergeruchs durch Unterschiede in den eingesetzten Besamungsebern, der Herkunft der angepaarten Sauen und zum Teil durch das verwendete Haltungssystem erklären lässt. Die genannten Faktoren waren aufgrund ihrer zum größten Teil hierarchischen Anordnung innerhalb der LPA vom spezifischen Umwelteffekt der LPA nicht zu trennen. Eine Beurteilung der genannten Faktoren war in Teildatensätzen möglich. Diese Auswertungen werden in Abschnitt 4.2 beschrieben.

4.2 Statistische Analyse: Einflussfaktoren auf Ebergeruchsmerkmale

Aus dem Blickwinkel des Produzenten sind die umweltbedingten Faktoren, die einen Einfluss auf die Merkmale des Ebergeruchs ausüben, von großem Interesse.

Im Folgenden wird auf den Einfluss des Schlachtgewichts und –alters, des Geschlechts, der Rasse, der Saison, der Haltung und der Leistungsprüfanstalt eingegangen und deren Auswirkungen auf die Ebergeruchskomponenten und Produktionsmerkmale untersucht.

4.2.1 Schlachtgewicht und Schlachtalter

In Abbildung 3 und 4 sind die Gehalte an Androstenon und Skatol je Gramm Fett für alle am Projekt beteiligten Eber dem Schlachtgewicht bzw. dem Schlachtalter gegenübergestellt. Anhand der beiden linearen Regressionen (blau: Androstenon; rot: Skatol) mit den entsprechenden Bestimmtheitsmaßen waren keine Abhängigkeiten ersichtlich. Demzufolge würde eine frühere Schlachtung bei geringerem Gewicht (im Rahmen des in diesem Versuch verwendeten Wertebereiches von ca. 70 bis 115 kg Schlachtgewicht bzw. 140 zu 220 Tagen Schlachtalter) nicht zu einer Verringerung der Gehalte der beiden Komponenten des Ebergeruchs führen. Dieser nicht nachweisbare Einfluss des Schlachtgewichtes auf die Ebergeruchsstoffe wurde auch mittels einer Varianzanalyse bestätigt, bei der der Einfluss des Schlachtgewichtes als Klasseneffekt (80-90 kg, 90-100 kg) gemäß der Versuchsanstellung berücksichtigt wurde.

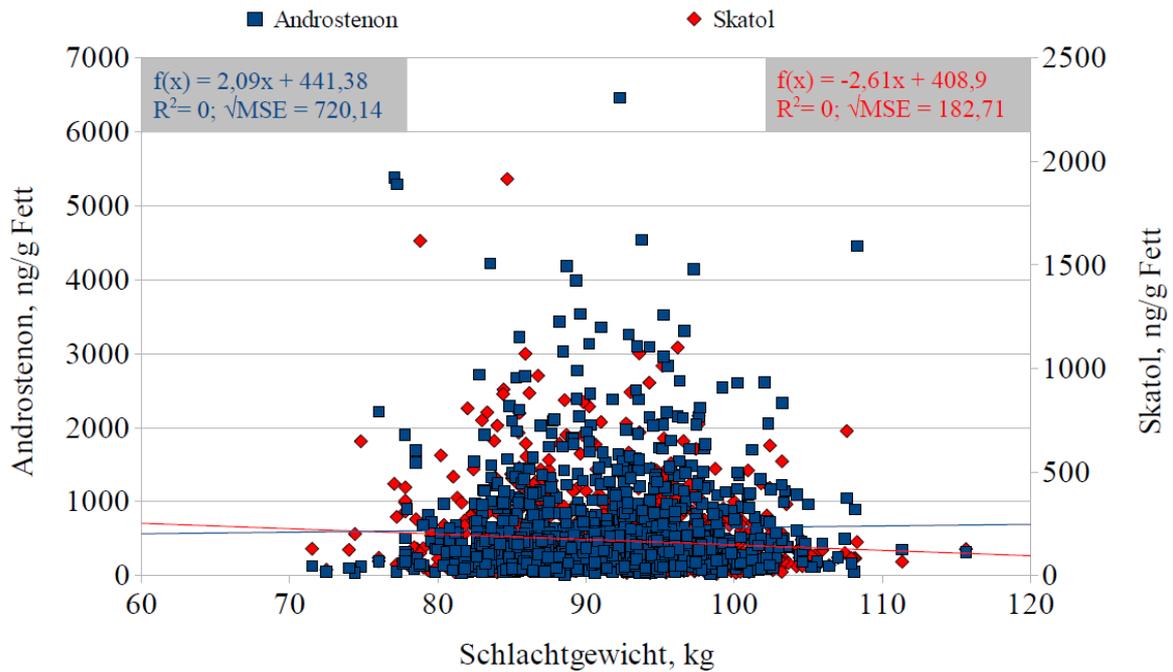


Abb. 6: Einfluss des Schlachtgewichts auf Androstenon und Skatol (N = 1010)

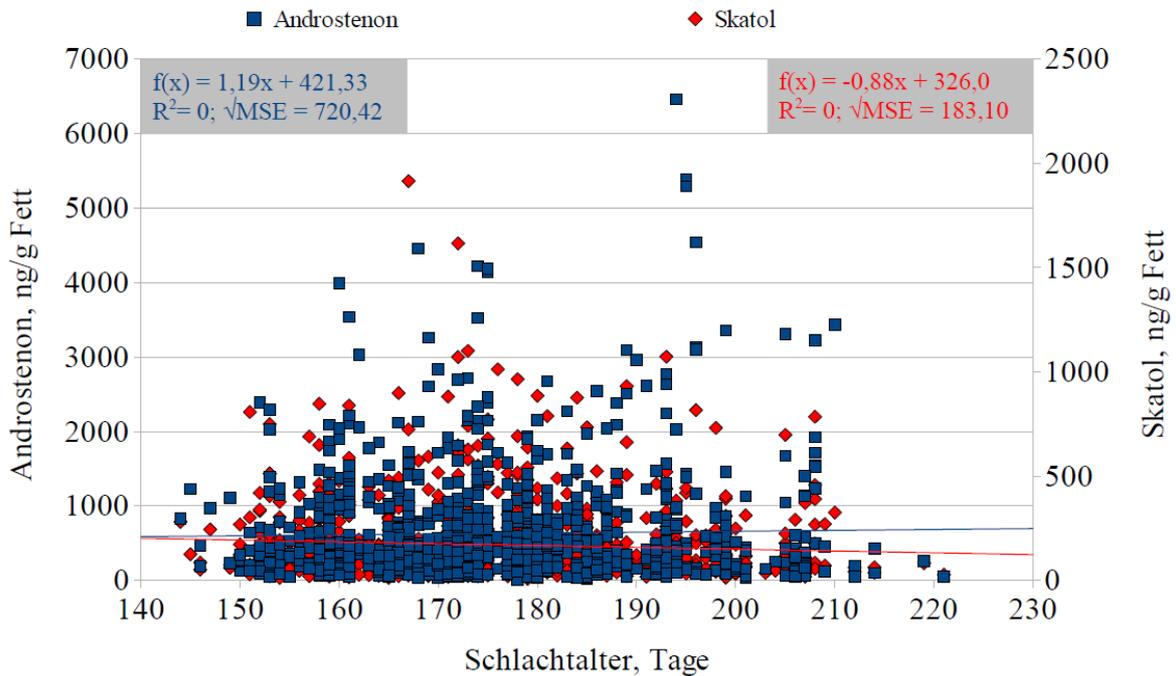


Abb. 7: Einfluss des Schlachalters auf Androstenon und Skatol (N = 1010)

4.2.2 Rasse

In der LPA III (Boxberg) wurden im letzten Durchgang neben Piétrain- auch Duroc-Kreuzungseber leistungsgeprüft. Hierbei konnten die Rassenunterschiede bezüglich der üblichen Produktionsmerkmale und der Merkmale des Ebergeruchs aufgezeigt werden. Die Daten wurden mit Hilfe der Modelle der Auswertung 3 (Tab. 8) analysiert.

Tab. 12: Rassenspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten vom dritten Durchgang in LPA III

Merkmal	Duroc × Kreuzungssau (N = 41)		Piétrain × Kreuzungssau (N = 65)	
	LSQ	SE	LSQ	SE
Fleischanteil, Bonn	%	58,8 ± 0,3	61,8 ± 0,2	***
Fleischanteil, Bauch	%	59,2 ± 0,4	62,2 ± 0,3	***
Ausschlachtung	%	76,3 ± 0,2	78,1 ± 0,1	***
Rückenspeckdicke	cm	1,8 ± 0,0	1,7 ± 0,0	*
Seitenspeckdicke	cm	2,4 ± 0,1	2,1 ± 0,1	***
Tageszunahme	g	1008 ± 13,2	829 ± 10,4	***
Futtermverwertung	kg	2,11 ± 0,02	2,25 ± 0,02	***
Intramuskulärer Fettgehalt	%	1,64 ± 0,07	0,90 ± 0,06	***
pH ₁ , Kotelett		6,34 ± 0,03	6,18 ± 0,03	***
Androstenon	ng/g Fett	1003 ± 104	337 ± 78	***
Androstenon (ln)		6,6 ± 0,1	5,5 ± 0,1	***
Skatol	ng/g Fett	213 ± 40	244 ± 30	ns
Skatol (ln)		5,0 ± 0,1	5,2 ± 0,1	ns
Indol	ng/g Fett	62 ± 10	60 ± 7	ns
Indol (ln)		4,0 ± 0,1	3,8 ± 0,1	ns

***: $p < 0,01$; **: $p < 0,025$; *: $p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

Die Schlachtkörper der Kreuzungsnachkommen der Pi-Eber waren im Vergleich zu den Duroc-Kreuzungseber deutlich fleischreicher (+3 % Fleischanteil, Bonn). Im Gegensatz

dazu waren die Nachkommen der Duroceber in der Mastleistung mit +180 g täglicher Zunahme und -0,14 in der Futtermittelverwertung überlegen (Tab. 12 Tab. A1, Appendix). Erwartungsgemäß überstiegen die Eber der Durockkreuzung die der Piétrainkreuzung im intramuskulären Fettgehalt um fast das Doppelte (1,64 % vs. 0,90 %).

Von den drei Leitkomponenten des Ebergeruchs war nur der Androstenongehalt signifikant unterschiedlich, welcher auf Originalskala bei der Duroc-Linie um 666 ng/g Fett höher war als bei der Piétrain-Linie. Der Skatolgehalt war tendenziell um 31 ng/g Fett bei den Pi-Kreuzungsschweinen höher ausgeprägt, während beide Linien beim Indol sich auf einem nahezu identischen Niveau befanden.

4.2.3 Saison

Ein weiterer Einflussfaktor für den Ebergeruch war der saisonale Effekt der Photoperiode oder Tageslichtlänge. In dem vorliegenden Versuch wurden die Tiere in zwei bzw. drei zeitlich getrennten Durchgängen aufgezogen und geschlachtet, die eine Aussage über saisonale Einflüsse innerhalb der LPA ermöglichen. Aus organisatorischen Gründen waren diese Prüfperioden in den LPAs nicht vollständig deckungsgleich. Um trotzdem eine LPA übergreifende Aussage über den zu erwartenden Effekt der Tageslichtdauer machen zu können, wurden alle Eber die im ersten Quartal 2010 geschlachtet wurden, der Gruppe "Winter" mit abnehmenden kurzen Tageslichtlängen und die Eber mit Schlachtermin drittes Quartal 2010 der Gruppe "Sommer" mit zunehmenden langen Tageslichtlängen zugeordnet. Die Schlachtungen des ersten Durchganges (Saison 2009/04) der LPA III (Boxberg) ließen sich keiner der genannten Gruppen zuordnen und blieben daher bei der LPA übergreifenden Auswertung unberücksichtigt. Die Daten wurden mit Hilfe der Modelle der Tabelle 7 analysiert.

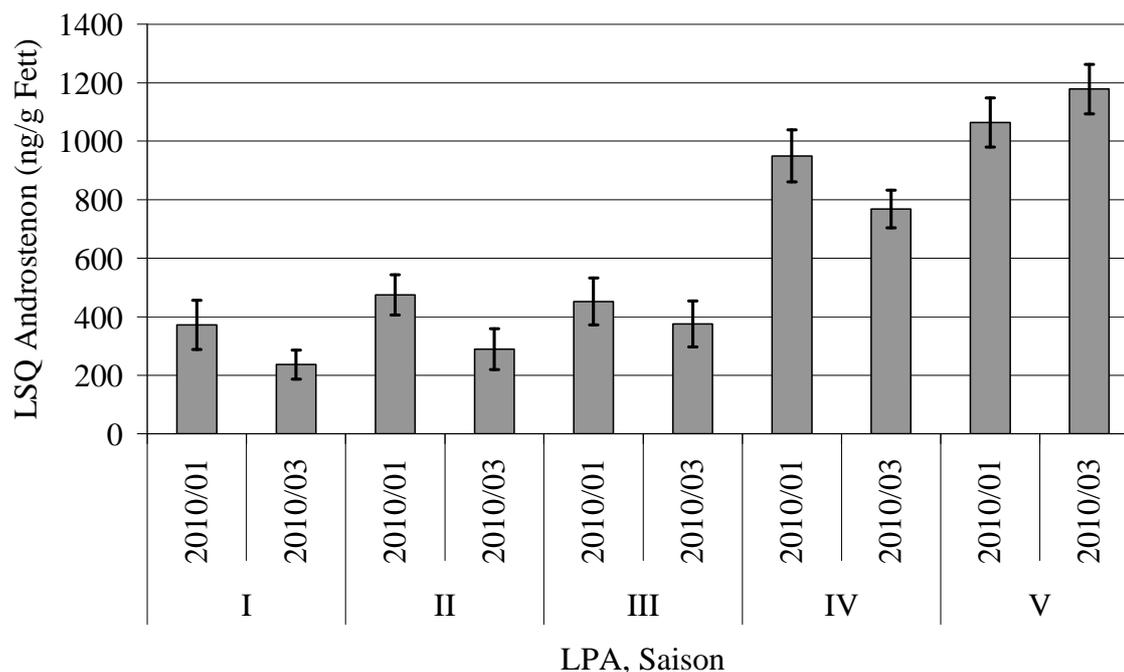


Abb. 8: Saisoneffekt für Androstenon innerhalb der einzelnen LPAs

Die Effekte LPA und Saison waren für das Merkmal Androstenon (ln) signifikant ($p < 0,01$). Der signifikante LPA Einfluss erklärt sich im Wesentlichen durch die Unterschiede zwischen den LPAs in Süd- (LPA I-III) und Westdeutschland (LPA IV, V) (Abschnitt 4.2.5).

Das Signifikanzniveau der Interaktion Saison \times LPA für das Merkmal Androstenon (ln) lag über 0,05. Die in Abbildung 8 dargestellten LSQ-Werte der Saisonklassen innerhalb LPA unterstreichen dieses Ergebnis. Die Werte der Saison 2010/01 waren für alle LPAs tendenziell höher, mit Ausnahme der Station V, bei der die tendenziell höheren Androstenonwerte in der zweiten Saison zu finden waren.

Für Skatol (ln) waren die Modellfaktoren Saison und LPA sowie die Interaktion Saison \times LPA signifikant ($p < 0,01$). Die Unterschiede wurden bei Betrachtung der signifikant unterschiedlichen saisonalen LSQ-Werte für Skatol (ln) nur innerhalb der Station I und IV ersichtlich (Abb. 9).

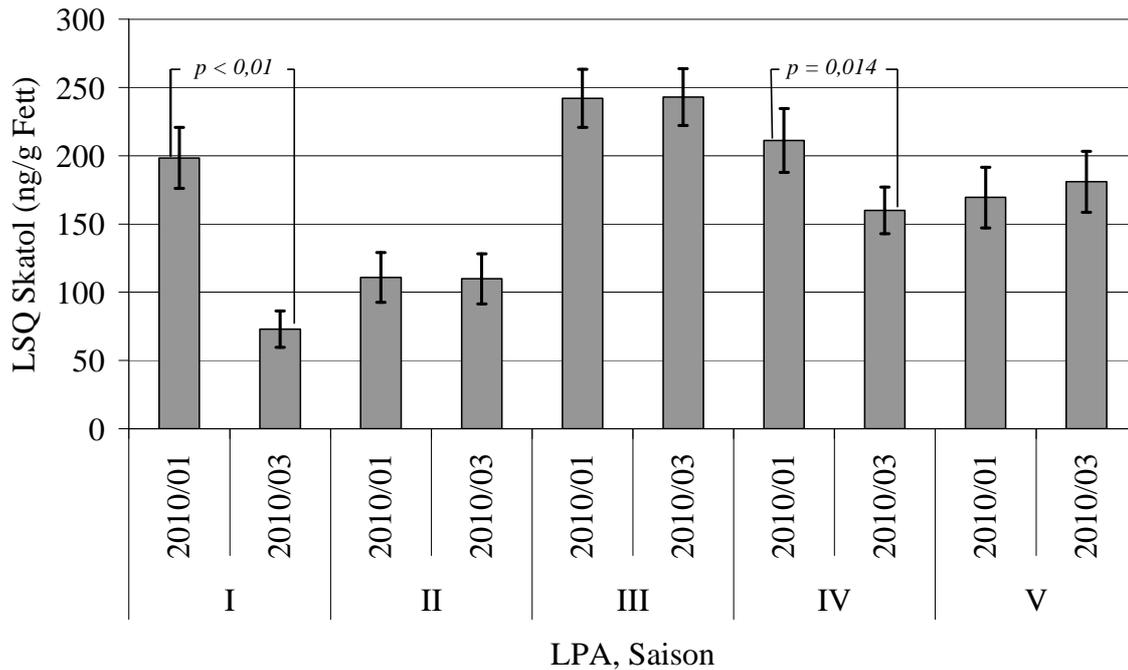


Abb. 9: Saisoneneffekt für Skatol innerhalb der einzelnen LPAs

4.2.4 Haltung

Während des ersten Mastdurchganges wurden Unterschiede in den Gehalten der Hauptkomponenten des Ebergeruchs zwischen den LPAs, welche Einzelhaltung (Station IV und V) und den LPAs, welche Gruppenhaltung (Station I bis III) verwendet haben, festgestellt (siehe Abschnitt 4.2.3). Aus diesem Grund wurden in LPA IV die Eber des zweiten Mastdurchganges simultan in Einzel- und Gruppenhaltung geprüft. Die Daten wurden mit Hilfe der Modelle der Auswertung 2 (Tab. 8) analysiert.

Die Eber in Einzelhaltung hatten im Vergleich zur Gruppenhaltung einen um 1,7 % niedrigeren Fleischanteil mit entsprechend höheren Speckdicken und einen um 0,12 % höheren intramuskulären Fettgehalt. Die Verwertung vom Futter war bei beiden Haltungsformen gleich, während in Einzelhaltung die Tiere um 84 g pro Tag mehr zunahmen.

Bei Betrachtung der Leitkomponenten des Ebergeruchs Androstenon und Skatol waren nach Log Transformation deutliche signifikante ($p < 0,01$) Unterschiede zu verzeichnen. Die Eber in Einzelhaltung hatten 222 ng mehr Androstenon pro Gramm Fett. Bei den Skatolwerten wurden bei den in Gruppen gehaltenen Ebern um 123 ng/g Fett niedrigere

Werte gemessen als bei den in Einzelhaltung. Im Gegensatz dazu war der Gehalt an Indol bei der Einzelhaltung nur tendenziell ($p > 0,05$) leicht erhöht (27 ng/g Fett).

Tab. 13: Haltungsspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten vom zweiten Durchgang in LPA IV

Merkmal	Einzelhaltung (N = 99)		Gruppenhaltung (N = 85)	
	LSQ	SE	LSQ	SE
Fleischanteil, Bonn	%	59,7 ± 0,2	61,0 ± 0,2	***
Fleischanteil, Bauch	%	59,3 ± 0,2	61,0 ± 0,3	***
Ausschlachtung	%	77,9 ± 0,1	77,7 ± 0,2	ns
Rückenspeckdicke	cm	1,9 ± 0,0	1,9 ± 0,0	ns
Seitenspeckdicke	cm	2,4 ± 0,1	2,2 ± 0,1	*
Tageszunahme	g	952 ± 8,2	868 ± 8,8	***
Futterverwertung	kg	2,24 ± 0,02	2,26 ± 0,02	ns
Intramuskulärer Fettgehalt	%	1,22 ± 0,04	1,10 ± 0,04	**
pH ₁ , Kotelett		6,65 ± 0,03	6,71 ± 0,04	ns
Androstenon	ng/g Fett	847 ± 85	625 ± 92	ns
Androstenon (ln)		6,4 ± 0,1	5,9 ± 0,1	***
Skatol	ng/g Fett	219 ± 21	96 ± 23	***
Skatol (ln)		4,9 ± 0,1	4,3 ± 0,1	***
Indol	ng/g Fett	87 ± 11	60 ± 12	ns
Indol (ln)		4,0 ± 0,1	3,8 ± 0,1	ns

***: $p < 0,01$; **: $p < 0,025$; *: $p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

4.2.5 Leistungsprüfstation

Im Abschnitt 4.1 wurde bereits auf relevante Unterschiede in den Rohdaten zwischen den Prüfstationen in den Merkmalen des Ebergeruchs hingewiesen. Diese Unterschiede lassen sich statistisch für alle Merkmale bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ absichern. Bei der Berechnung der LSQ-Mittelwerte in Tabelle 14 wurden die beiden Haltungssysteme der Station IV getrennt betrachtet. Die Daten wurden mit Hilfe der Modelle der Tabelle 7 analysiert.

Bei allen Produktionsmerkmalen wurden signifikante Differenzen verzeichnet. Die Eber der LPAs in Süddeutschland (I bis III) hatten die signifikant höchsten Fleischanteile sowohl nach Bonner Formel (62,1 bis 64,2 %) als auch im Bauch (62,1 bis 63,3 %). Hierbei konnten die signifikant höchsten Fleischanteile in Station I gemessen werden.

Bei dem intramuskulärem Fettgehalt, der Rücken- und Seitenspeckdicke wurden die niedrigsten Werte in den LPAs Süddeutschlands beobachtet, wobei in LPA V im Westen die signifikant höchsten Werte für die drei Merkmale gemessen wurden (Rsd: 1,9 cm; Ssd: 3,1 cm; Imf: 1,51 %). Für die Seitenspeckdicke und den intramuskulären Fettgehalt zeichnete sich hinsichtlich des regionalen Unterschieds zwischen den beiden Stationen mit Gruppenhaltung (LPA II in Süd- und LPA IV in Westdeutschland) keine signifikanten Differenzen ab.

Die einzel gehaltenen Eber aus Station IV und V hatten signifikant höher Tageszunahmen (von +37 bis +126 g/Tag) und niedrigere Fleischanteile im Schlachtkörper (von -1,3 bis -6 %) bzw. Bauch (von -1,7 bis -6,3 %) als die Tiere in Gruppenhaltung. Unter Berücksichtigung des Vergleichs der Haltungsformen in LPA IV in Abschnitt 4.2.4 könnten diese Differenzen eher dem Effekt der unterschiedlichen Haltungssysteme als einem spezifischen Stationseffekt zugeordnet werden. Beim Merkmal Futtermittelverwertung waren zwar signifikante Unterschiede zwischen den Stationen zu verzeichnen, jedoch konnten diese weder dem Haltungssystem noch der geographischen Lage der Station eindeutig zugeordnet werden.

Ähnlich wie bei den beiden Merkmalen des Fleischanteils konnte bei Betrachtung des Androsteningehaltes signifikante Unterschiede zwischen den west- und süddeutschen LPAs nachgewiesen werden, wobei die höchsten Werte in Westdeutschland gemessen wurden. Unter Berücksichtigung des nicht signifikanten Effektes des Haltungssystems (Abschnitt 4.2.4) war zu vermuten, dass dieser Unterschied sich aus den regional

unterschiedlich eingesetzten genetischen Eber- und Sauenlinien erklärt. Ein vergleichbarer genetischer Einfluss auf Androstenon konnte bereits beim Vergleich der Rassen Duroc und Piétrain in Abschnitt 4.2.2 gezeigt werden. Innerhalb der süddeutschen LPAs waren keine signifikanten Differenzen im Androstenongehalt festzustellen. Im Gegensatz dazu unterschied sich die LPA V mit höchstem Androstenonwert (1115 ng/g Fett) signifikant von den Androstenonwerten der Gruppentiere der LPA IV, obwohl in diesen LPAs zum Teil identische Besamungseber eingesetzt wurden und die Sauen aus dem gleichen Zuchtunternehmen stammten.

Im Gegensatz zum Androstenon waren die überwiegend signifikant unterschiedlichen Skatolwerte zwischen den LPAs nicht geographisch in West und Süd zu gruppieren. Hierbei spielten eher die Effekte Haltungssysteme und Saison eine Rolle. Wie bereits in dem vorangegangenen Abschnitt 4.2.4 gezeigt wurde, waren die höchsten LSQ-Mittelwerte für Skatol bei den einzel gehaltenen Eber zu finden. In Station III, in welcher Gruppenhaltung angewandt wurde, wurden die zweithöchsten LSQ-Mittelwerte (219 ng/g Fett) gemessen, die sich signifikant von der Station V unterschied. Wie bereits in Abschnitt 4.2.3 erläutert, konnten diese hohen Werte in beiden Durchgängen nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu waren signifikante Unterschiede zwischen den Durchgängen innerhalb der Stationen I und IV erkennbar. Auf diesen Unterschied wurde bereits unter Berücksichtigung der signifikanten LPA \times Saison Interaktion in Abschnitt 4.2.3 hingewiesen.

Insgesamt unterstrichen diese Ergebnisse die vermutlich höhere Umweltabhängigkeit des Skatolgehaltes im Vergleich zur Androstenonkonzentration.

Deshalb war es nicht verwunderlich, dass sich die Rangfolge der LSQ-Mittelwerte zwischen Skatol und Androstenon bzw. Indol unterschied. Erstaunlich war aber die gleiche Rangfolge von Androstenon und Indol, obwohl die Signifikanzniveaus der Stationsunterschiede nicht die gleichen waren.

Tab. 14: Stationsspezifische (LPA) LSQ-Mittelwerte, unterschieden zwischen Gruppen- (G) und Einzelhaltung (E), basierend auf den Daten aller Eber (N = 1010)

Merkmal	Station I	Station II	Station III	Station IV		Station V
	G (N = 160)	G (N = 172)	G (N = 204)	E (N = 199)	G (N = 85)	E (N = 190)
	LSQ* \pm SE	LSQ \pm SE	LSQ \pm SE	LSQ \pm SE	LSQ \pm SE	LSQ \pm SE
Fa, Bonn %	64,2 \pm 0,2 ^a	62,8 \pm 0,2 ^b	62,1 \pm 0,1 ^c	60,0 \pm 0,1 ^e	61,3 \pm 0,2 ^d	58,2 \pm 0,1 ^f
Fa, Bauch %	63,3 \pm 0,2 ^a	62,1 \pm 0,2 ^b	62,3 \pm 0,2 ^b	59,3 \pm 0,2 ^d	61,0 \pm 0,3 ^c	57,0 \pm 0,2 ^e
Aussla %	80,6 \pm 0,1 ^a	80,7 \pm 0,1 ^a	78,8 \pm 0,1 ^b	78,2 \pm 0,1 ^c	78,0 \pm 0,2 ^{cd}	77,4 \pm 0,1 ^d
Rsd cm	1,3 \pm 0,0 ^e	1,6 \pm 0,0 ^d	1,7 \pm 0,0 ^c	1,8 \pm 0,0 ^b	1,8 \pm 0,0 ^{ab}	1,9 \pm 0,0 ^a
Ssd cm	1,9 \pm 0,0 ^d	2,2 \pm 0,0 ^c	2,1 \pm 0,0 ^d	2,5 \pm 0,0 ^b	2,3 \pm 0,1 ^{bc}	3,1 \pm 0,0 ^a
Tgz g	844 \pm 7 ^d	862 \pm 7 ^{cd}	857 \pm 6 ^{cd}	970 \pm 6 ^a	887 \pm 11 ^c	924 \pm 6 ^b
Fvw kg	2,27 \pm 0,01 ^{ab}	2,20 \pm 0,01 ^c	2,23 \pm 0,01 ^{bc}	2,27 \pm 0,01 ^{ab}	2,29 \pm 0,02 ^{ab}	2,29 \pm 0,01 ^a
Imf %	1,05 \pm 0,03 ^c	1,16 \pm 0,03 ^b	0,81 \pm 0,02 ^d	1,24 \pm 0,02 ^b	1,12 \pm 0,04 ^{bc}	1,51 \pm 0,02 ^a
pH _{1Ko}	6,26 \pm 0,02 ^c	6,42 \pm 0,02 ^b	6,13 \pm 0,02 ^d	6,66 \pm 0,02 ^a	6,64 \pm 0,03 ^a	6,37 \pm 0,02 ^b
And ng/g Fett	301 \pm 56 ^c	377 \pm 54 ^c	404 \pm 48 ^c	880 \pm 48 ^b	826 \pm 85 ^b	1115 \pm 48 ^a
And (ln)	5,5 \pm 0,1 ^c	5,6 \pm 0,1 ^c	5,6 \pm 0,1 ^c	6,4 \pm 0,1 ^{ab}	6,1 \pm 0,1 ^b	6,7 \pm 0,1 ^a
Ska ng/g Fett	134 \pm 15 ^{bc}	108 \pm 14 ^c	219 \pm 13 ^{ab}	239 \pm 13 ^a	131 \pm 23 ^{bc}	174 \pm 13 ^b
Ska (ln)	4,6 \pm 0,1 ^{bc}	4,4 \pm 0,1 ^c	5,1 \pm 0,1 ^a	5,1 \pm 0,1 ^a	4,5 \pm 0,1 ^{bc}	4,7 \pm 0,1 ^b
Ind ng/g Fett	30 \pm 7 ^c	38 \pm 6 ^{bc}	56 \pm 6 ^b	85 \pm 6 ^a	73 \pm 10 ^{ab}	88 \pm 6 ^a
Ind (ln)	3,3 \pm 0,1 ^c	3,5 \pm 0,1 ^{bc}	3,7 \pm 0,1 ^b	4,0 \pm 0,1 ^a	4,0 \pm 0,1 ^a	4,0 \pm 0,1 ^a

* LSQ-Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Linie sind signifikant verschieden ($p < 0,05$)

4.3 Unterschiede zwischen Sauen, Kastraten und Ebern in den Merkmalen der Fleischleistung

Die Wirtschaftlichkeit einer Ebermast im Vergleich zur Mast von Kastraten und Sauen wird neben dem Risiko von Geruchsabweichungen auch durch die Unterschiede zwischen der Produktionsleistung bestimmt. Ein Vergleich zwischen Sauen und Ebern wurde mit den Tieren der LPA I, II und III durchgeführt, die in vergleichbaren Zeiträumen gemästet wurden. Die Unterschiede zwischen Kastraten und Ebern bzw. Sauen in den Fleischleistungsmerkmalen konnte nur auf Grundlage von Station III geschätzt werden, da nur in dieser LPA alle Geschlechter leistungsgeprüft wurden.

Die Unterschiede zwischen Sauen, Ebern und Kastraten in wichtigen Fleischleistungsmerkmalen lässt sich anhand der entsprechenden LSQ-Mittelwerte in Tabelle 15 verdeutlichen. Die Daten wurden mit Hilfe der Modelle der Auswertung 1a (Tab. 8) analysiert. Dabei war der generelle Modellfaktor Geschlecht beim überwiegenden Anteil der Merkmale mit Ausnahme einiger Merkmale der Fleischbeschaffenheit signifikant ($p < 0,05$).

Die Eber hatten im Vergleich zu den beiden anderen Geschlechtern einen höheren LSQ-Mittelwert für den Muskelfleischanteil sowohl im gesamten Schlachtkörper als auch im Teilstück Bauch (0,3 bzw. 4,8 %). Der Unterschied im Fleischanteil war mit +3,6 % (Fleischanteil, Bonn) bzw. +4,8 % (Fleischanteil, Bauch) besonders beim Vergleich von Ebern zu Kastraten ausgeprägt. Diese Überlegenheit verdeutlichte sich auch in den geringsten Fettauflagen an nahezu allen Messpositionen. Die Differenzen zwischen Ebern und Sauen in den Merkmalen der Schlachtkörperzusammensetzung waren teilweise signifikant, wobei die Überlegenheit der Eber im Fleischanteil Bauch und Unterlegenheit in der Ausschachtung zu beachten waren. Eine führende Rolle spielte der Eber beim Merkmal Futterverwertung, da sie 0,32 bzw. 0,17 kg weniger Futter je kg Zuwachs verbrauchten als Kastraten und Sauen.

Bei der Tageszunahme bewegten sich Sauen und Eber auf einem vergleichbaren Niveau, während die Zunahme der Kastraten mit 904 g/ Tag um ca. 50 g höher lagen.

Keine Unterschiede konnten bei den Merkmalen der früh- und spät-postmortalen Fleischbeschaffenheit nachgewiesen werden. Eine Ausnahme bildeten hierbei der intramuskuläre Fettgehalt und der pH₂₄ im Schinken, wobei letzteres nur einen geringfügig signifikanten Unterschied zwischen Ebern und Sauen von 0,04 aufzeigte (Tab. A5,

Appendix). Hinsichtlich des intramuskulären Fettgehaltes bestand ein signifikanter Unterschied zwischen allen drei Geschlechtern, wobei die Eber sich mit 0,81 % auf einem ähnlichen Niveau wie die Sauen mit 0,93 % befanden. Diesbezüglich hoben sich die Kastraten mit 1,24 % Imf deutlich von den Sauen und Ebern ab. Der Modellfaktor Geschlecht war bei den restlichen Merkmalen der Fleischbeschaffenheit, pH₁, Kotelett und LF₂₄, Kotelett, nicht signifikant. (Tab. 15 und A5, Appendix)

Tab. 15: Geschlechtsspezifische LSQ-Mittelwerte, basierend auf den Daten der LPA III (alle Durchgänge)

Merkmal	Sauen (N = 106)			Kastrate (N = 107)			Eber (N = 204)						
	LSQ*	±	SE	LSQ	±	SE	LSQ	±	SE				
Fleischanteil, Bonn	%	61,8	±	0,2	^a	58,5	±	0,2	^b	62,1	±	0,1	^a
Fleischanteil, Bauch	%	61,4	±	0,2	^b	57,6	±	0,2	^c	62,4	±	0,2	^a
Ausschlachtung	%	80,4	±	0,1	^a	79,2	±	0,1	^b	78,8	±	0,1	^c
Rückenspeckdicke	cm	2,0	±	0,0	^b	2,3	±	0,0	^a	1,7	±	0,0	^c
Seitenspeckdicke	cm	2,2	±	0,0	^b	2,8	±	0,0	^a	2,0	±	0,0	^c
Tageszunahme	g	847	±	6,8	^b	904	±	6,8	^a	857	±	4,9	^b
Futterverwertung	kg	2,40	±	0,02	^b	2,55	±	0,02	^a	2,23	±	0,01	^c
Intramuskulärer Fettgehalt	%	0,93	±	0,03	^b	1,24	±	0,03	^a	0,81	±	0,02	^c
pH ₁ , Kotelett		6,08	±	0,02	^a	6,04	±	0,02	^a	6,10	±	0,02	^a

* LSQ-Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Linie sind signifikant verschieden ($p < 0,05$)

Die Auswertung der Unterschiede zwischen ausschließlich Ebern und Sauen (Tab. 16) wurde mit Hilfe der Modelle der Auswertung 1b (Tab. 8) analysiert. Im Vergleich zu den Ergebnissen mit allen Geschlechtern (Tab. 14) ergaben sich einige erwähnenswerte Unterschiede. Die zuvor nur tendenziellen Überlegenheiten der Eber gegenüber Sauen bei den Merkmalen Tageszunahme und pH₁, Kotelett waren nun signifikant ($p < 0,01$ bzw. $< 0,025$). Nennenswerte Unterschiede konnten auch in den Merkmalen Fleischanteil im

Bauch und Seitenspeckdicke festgestellt werden, bei denen sich die Rangfolge von Ebern und Sauen änderte.

Tab. 16: Geschlechtsspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten der LPA I, II und III (jeweils nur 2 Durchgänge)

Merkmal	Sauen (N = 358)			Eber (N = 464)		
	LSQ*	±	SE	LSQ	±	SE
Fleischanteil, Bonn	%	63,3	± 0,1	63,1	± 0,1	ns
Fleischanteil, Bauch	%	63,1	± 0,1	62,6	± 0,1	***
Ausschlachtung	%	80,8	± 0,1	79,9	± 0,1	***
Rückenspeckdicke	cm	1,7	± 0,0	1,6	± 0,0	***
Seitenspeckdicke	cm	2,0	± 0,0	2,1	± 0,0	***
Tageszunahme	g	823	± 5	848	± 4	***
Futterverwertung	kg	2,33	± 0,01	2,24	± 0,01	***
Intramuskulärer Fettgehalt	%	1,08	± 0,02	1,03	± 0,01	**
pH ₁ , Kotelett		6,23	± 0,01	6,27	± 0,01	**

***: $p < 0,01$; **: $p < 0,025$; *: $p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

Diese Abweichungen lassen sich aufgrund unterschiedlicher Datengrundlagen und der signifikanten Interaktion zwischen LPA und Geschlecht erklären. Der Tabelle 17 sind die LSQ-Mittelwerte für Eber und Sauen der einzelnen LPAs zu entnehmen.

Im Merkmal Fleischanteil nach Bonner Formel war in den LPAs I und II eine Überlegenheit der Sauen gegenüber den Ebern von 0,4 bzw. 1,2 % festzustellen, während in der LPA III die Sauen um 0,8 % tendenziell unterlegen waren. Ebenfalls ließen sich veränderte Rangfolgen im Merkmal Tageszunahme und in der Ausschlachtung feststellen. In der LPA II nahmen die Eber signifikant 60 g/Tag mehr zu, während in den übrigen LPAs Eber und Sauen auf einem vergleichbaren Niveau lagen. In der Ausschlachtung besaßen die Sauen in den LPAs II und III um 1,3 bzw. 1,9 % signifikant höhere Werte, während in LPA I die Eber um 0,8 % überlegen waren.

Tab. 17: Stationsspezifische (LPA) LSQ-Mittelwerte, unterschieden zwischen Ebern und Sauen, basierend auf den Daten der LPA I, II und III (jeweils nur 2 Durchgänge)

Merkmal	Station I		Station II		Station III	
	Sauen (N = 127)	Eber (N = 160)	Sauen (N = 162)	Eber (N = 172)	Sauen (N = 69)	Eber (N = 132)
	LSQ* ± SE	LSQ ± SE	LSQ ± SE	LSQ ± SE	LSQ ± SE	LSQ ± SE
Fa, Bonn %	64,6 ± 0,2 ^a	64,2 ± 0,2 ^a	64,0 ± 0,2 ^a	62,8 ± 0,2 ^b	61,4 ± 0,4 ^c	62,2 ± 0,2 ^{bc}
Fa, Bauch %	63,8 ± 0,2 ^a	63,3 ± 0,2 ^a	63,8 ± 0,2 ^a	62,1 ± 0,2 ^b	61,7 ± 0,4 ^b	62,4 ± 0,2 ^b
Aussla %	79,8 ± 0,2 ^c	80,6 ± 0,1 ^b	82,0 ± 0,1 ^a	80,7 ± 0,1 ^b	80,5 ± 0,2 ^{bc}	78,6 ± 0,1 ^d
Rsd cm	1,5 ± 0,0 ^{cd}	1,4 ± 0,0 ^e	1,7 ± 0,0 ^{bc}	1,6 ± 0,0 ^c	1,9 ± 0,1 ^a	1,7 ± 0,0 ^b
Ssd cm	1,8 ± 0,0 ^c	2,0 ± 0,0 ^b	2,0 ± 0,0 ^b	2,2 ± 0,0 ^a	2,1 ± 0,1 ^{ab}	2,1 ± 0,0 ^b
Tgz g	845 ± 7 ^{ab}	844 ± 6 ^{ab}	803 ± 6 ^c	863 ± 6 ^a	822 ± 9 ^{bc}	836 ± 7 ^b
Fvw kg	2,26 ± 0,01 ^c	2,27 ± 0,01 ^c	2,34 ± 0,01 ^b	2,20 ± 0,01 ^d	2,41 ± 0,02 ^a	2,26 ± 0,01 ^c
Imf %	1,12 ± 0,03 ^{ab}	1,05 ± 0,02 ^b	1,11 ± 0,02 ^{ab}	1,17 ± 0,02 ^a	1,00 ± 0,03 ^b	0,86 ± 0,02 ^c
pH _{1ko}	6,29 ± 0,02 ^b	6,25 ± 0,02 ^b	6,28 ± 0,02 ^b	6,42 ± 0,02 ^a	6,11 ± 0,03 ^c	6,13 ± 0,02 ^c

* LSQ-Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Linie sind signifikant verschieden ($p < 0,05$)

4.4 Genetik des Ebergeruchs

4.4.1 Genetische Parameter der Ebergeruchskomponenten

Die Kenntnisse der genetischen Parameter waren für die züchterische Bearbeitung des Ebergeruchs von elementarer Bedeutung. Die mit Hilfe eines multivariaten Tiermodells (Abschnitt 3.6.2, Tab. 9) geschätzten genetischen Parameter der Leitkomponenten des Ebergeruchs sind in der Tabelle 18 dargestellt. Die Heritabilitäten lagen mit Werten zwischen 0,6 (Androstenon) bis 0,32 (Skatol) mit Blick auf potentielle Selektionserfolge in einem züchterisch vielversprechenden Bereich.

Die genetische als auch die phänotypische Korrelation zwischen Androstenon und Skatol von 0,33 bzw. 0,29 zeigte, dass beide Stoffe zur Vermeidung von geruchsbelasteten Eberschlachtkörper gemessen und in das Zuchtziel integriert werden müssen. Sehr hohe Korrelationen wurden zwischen Skatol und Indol ($r_g = 0,71$; $r_p = 0,62$) berechnet. Dies war zu erwarten, da beide Produkte im Rahmen des L-Tryptophan Abbaus verbunden sind.

Tab. 18: Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen den drei Ebergeruchskomponenten sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)

	Skatol (ln)		Indol (ln)		h^2
	r_g	r_p	r_g	r_p	
Androstenon (ln)	$0,33 \pm 0,12$	0,29	$0,68 \pm 0,11$	0,39	$0,60 \pm 0,11$
Skatol (ln)			$0,71 \pm 0,08$	0,62	$0,43 \pm 0,06$
Indol (ln)					$0,32 \pm 0,08$

4.4.2 Beziehungen der Ebergeruchskomponenten zu anderen Merkmalskomplexen

Um die Auswirkungen der züchterischen Veränderung der Gehalte der Ebergeruchskomponenten auf andere wichtige wirtschaftliche Merkmalskomplexe abschätzen zu können, wurden deren Beziehungen zueinander untersucht. In den folgenden Abschnitten werden die genetischen und phänotypischen Beziehungen von Androstenon und Skatol zu den Produktions- und Fruchtbarkeitsmerkmalen beleuchtet, welche bei der Zucht gegen Ebergeruch von zentraler Bedeutung sind. Die hierzu benötigten genetischen Parameter für die Produktionsmerkmale in Abschnitt 4.4.2.1 wurden anhand der Modelle der Tabelle 9 (Abschnitt 3.6.2) geschätzt. Für die Fruchtbarkeitsmerkmale in Abschnitt 4.4.2.2 wurden die Modelle der Tabelle 10 verwendet (Abschnitt 3.6.2).

Die Bedeutung von Indol für das Auftreten von Geruchsabweichungen ist nach WEILER et al. (1995) als gering einzuschätzen. Aufgrund dieser Ausgangslage und den hohen Beziehungen zwischen Skatol und Indol wurde auf eine Darstellung der Beziehungen zwischen Indol und Merkmalen der Fleischleistung bzw. Fruchtbarkeit verzichtet.

Die Merkmalsbeziehungen innerhalb und zwischen den Merkmalskomplexen Fleischleistung und Fruchtbarkeit stand nicht im Fokus der Arbeit. Einige dieser Korrelationen waren aufgrund der Datenstruktur und des daraus resultieren Konvergenzproblems des REML Algorithmuses, nicht auswertbar und werden mit Ausnahme der Korrelationen innerhalb des paternalen Fruchtbarkeitskomplexes nicht dargestellt.

4.4.2.1 Beziehungen zu Produktionsmerkmalen

Die genetische Fundierung der Fleischleistungsmerkmale lag mit Heritabilitäten zwischen 0,27 (pH₁, Kotelett) bis 0,52 (Tageszunahme) in einem mittleren und hohen Bereich.

Die genetischen als auch die phänotypischen Beziehungen zwischen den Leitkomponenten des Ebergeruchs und Merkmalen der Schlachtkörperzusammensetzung und der Mastleistung waren im züchterischen Sinne positiv ausgeprägt oder unterschieden sich nur unwesentlich von Null (Tab. 15). Diese Beziehungen waren bei Skatol tendenziell stärker ausgeprägt als bei Androstenon. Eine Ausnahme von den genannten Zusammenhängen war beim Merkmal intramuskulärer Fettgehalt festzustellen. Eine Verminderung des

Androstenongehaltes hätte marginale ($r_g = -0,30$) erwünschte Konsequenzen für den intramuskulären Fettgehalt; beim Skatol waren die Verhältnisse umgekehrt ($r_g = 0,11$).

Tab. 19: Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen Ebergeruchskomponenten und einigen Leistungsmerkmalen sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)

	Androstenon (ln)		Skatol (ln)		h^2
	r_g	r_p	r_g	r_p	
Tageszunahme	$-0,08 \pm 0,12$	0,04	$-0,27 \pm 0,07$	-0,12	$0,52 \pm 0,07$
Futterverwertung	$0,09 \pm 0,10$	0,03	$0,36 \pm 0,07$	0,11	$0,38 \pm 0,06$
Fleischanteil, Bonn	$-0,22 \pm 0,16$	-0,15	$-0,35 \pm 0,15$	-0,14	$0,37 \pm 0,08$
Fleischanteil, Bauch	$-0,25 \pm 0,15$	-0,18	$-0,31 \pm 0,13$	-0,14	$0,43 \pm 0,08$
intramuskulärer Fettgehalt	$-0,30 \pm 0,10$	-0,05	$0,11 \pm 0,11$	0,02	$0,43 \pm 0,08$
LF ₂₄ , Kotelett	$0,01 \pm 0,11$	0,03	$-0,18 \pm 0,11$	-0,07	$0,42 \pm 0,09$
pH ₁ , Kotelett	$-0,10 \pm 0,11$	-0,05	$0,04 \pm 0,11$	0,05	$0,27 \pm 0,06$

4.4.2.2 Beziehungen zu Fruchtbarkeitsmerkmalen

Um die Auswirkungen einer züchterischen Veränderung des Ebergeruchs für die Fruchtbarkeitskomplexe quantifizieren zu können, wurden Merkmale der paternalen und maternalen Fruchtbarkeit den Leitkomponenten des Ebergeruchs gegenübergestellt. Zur Charakterisierung der paternalen Fruchtbarkeit wurden die Spermaqualität und –quantität der KB-Eber bzw. die Hodenparameter der Prüfeber herangezogen. Die maternale Fruchtbarkeit wurde durch Merkmale beschrieben, die im Rahmen der Zuchtleistungsprüfung von Pietrain-Reinzuchtsauen erhoben wurden

Die Heritabilitäten der drei Spermaqualitätsmerkmale rangierten zwischen 0,45 und 0,76 auf einem unerwartet hohen Niveau. Hierbei ist jedoch zu erwähnen, dass die Datengrundlage dieser Parameter nur auf den gemessenen Werten der 136 KB-Eber basierte. Hieraus resultierten die relativ hohen Standardfehler der Heritabilitäten.

Die genetischen und phänotypischen Korrelationen zwischen den Spermaparametern (Spermavolumen, -dichte, -motilität) und Androstenon sowie Skatol lagen in einem Bereich von -0,28 bis 0,19 (Tab. 20). Aufgrund der hohen Standardfehler und der wechselnden Vorzeichen konnte eine generelle Aussage über mögliche antagonistische Beziehungen zwischen paternaler Fruchtbarkeit und Ebergeruchsstoffen nicht getroffen werden. Erwünschte Beziehungen waren beim Merkmal Skatol mit negativen Korrelationen zum Spermavolumen und -motilität von -0,22 und -0,28 tendenziell zu verzeichnen. Beim Androstenon hingegen unterschieden sich diese Beziehungen kaum signifikant von 0.

Tab. 20: Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen Ebergeruchskomponenten und paternalen Fruchtbarkeitsmerkmalen sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)

		Androstenon (ln)		Skatol (ln)		h^2
		r_g	r_p	r_g	r_p	
Sperma-	volumen	0,07 \pm 0,02	0,04	-0,22 \pm 0,13	-0,11	0,56 \pm 0,03
	dichte	-0,23 \pm 0,13	-0,12	0,19 \pm 0,14	0,08	0,45 \pm 0,03
	motilität	0,15 \pm 0,09	0,11	-0,28 \pm 0,10	-0,16	0,76 \pm 0,02

Im nächsten Schritt wurden die Hodenmaße der Prüfeber untersucht. Der Erblichkeitsgrad des Hodengewichtes war im Vergleich zu dem der Hodenbreite ($h^2 = 0,11$) und -länge ($h^2 = 0,07$) mit 0,38 deutlich stärker ausgeprägt.

Die Beziehungen der Hodenmerkmale zu den Ebergeruchskomponenten sind der Tabelle 21 zu entnehmen. Hierbei waren beachtliche genetische Beziehungen zum Merkmal Androstenon zwischen 0,45 und 0,54 erkennbar. Aufgrund der Hoden als Syntheseort von Androstenon war dieses Ergebnis zu erwarten. Unter Berücksichtigung der hohen Heritabilität und der ausgeprägten Korrelationen ist das Hodengewicht ein relativ zuverlässiger Indikator des Androstenongehaltes.

Beim Merkmal Skatol waren diese unerwünschten Beziehungen zu den Hodenmerkmalen deutlich geringer ausgeprägt, wobei eine weitergehende Interpretation aufgrund der hohen Standardfehler kaum möglich erscheint.

Tab. 21: Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen Ebergeruchskomponenten und Hodenparameter sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)

		Androstenon (ln)		Skatol (ln)		h^2
		r_g	r_p	r_g	r_p	
Hoden-	breite	$0,54 \pm 0,22$	0,21	$0,12 \pm 0,24$	0,10	$0,11 \pm 0,06$
	gewicht	$0,45 \pm 0,15$	0,34	$0,26 \pm 0,17$	0,15	$0,38 \pm 0,07$
	länge	$0,53 \pm 0,28$	0,18	$0,30 \pm 0,25$	0,09	$0,07 \pm 0,05$

Die Korrelationen zwischen den Merkmalen der Spermaqualität und -quantität befanden sich auf einem niedrigen bis mittleren Niveau. Die höchste Korrelation hierbei war erwartungsgemäß zwischen Spermavolumen und -dichte zu beobachten gewesen ($r_g = -0,38$; $r_p = -0,37$).

Die Beziehungen zwischen diesem Merkmalskomplex und dem der Hodenparameter unterschieden sich kaum vom Wert 0 oder waren alle mit einem hohen Standardfehler behaftet. Somit ist eine Interpretation dieser Korrelationen kaum möglich.

Tab. 22: Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen und innerhalb des Merkmalkomplexes der Spermaqualität und -quantität und dem der Hodenparameter (\pm Standardfehler)

		Sperma-					
		volumen		dichte		motilität	
		r_g	r_p	r_g	r_p	r_g	r_p
Sperma-	volumen			$-0,38 \pm 0,07$	$-0,37$	$0,19 \pm 0,08$	$0,13$
	dichte					$-0,24 \pm 0,08$	$-0,18$
Hoden-	breite	$0,33 \pm 0,21$	$0,08$	$-0,06 \pm 0,14$	$-0,01$	$0,27 \pm 0,19$	$0,08$
	gewicht	$0,00 \pm 0,11$	$0,00$	$0,00 \pm 0,09$	$0,00$	$0,13 \pm 0,05$	$0,07$
	länge	$0,11 \pm 0,23$	$0,02$	$-0,17 \pm 0,24$	$-0,03$	$0,11 \pm 0,07$	$0,03$

Abschließend wurden die genetische Fundierung der Merkmale der maternalen Fruchtbarkeit sowie deren Beziehungen zu den Ebergeruchsstoffen geschätzt (Tab. 23). Mit Ausnahme des Erstferkelalters ($h^2 = 0,2$) befanden sich die Heritabilitäten der maternalen Fruchtbarkeit auf einem niedrigen Niveau. Diese niedrigen Werte sowie die hohen Standardfehler schränkten die Aussagekraft der genetischen Beziehungen zwischen den Leitkomponenten des Ebergeruchs und der maternalen Fruchtbarkeit ein. Die geschätzten Korrelationen zwischen Androstenon ($r_g = 0,10 \pm 0,22$) bzw. Skatol ($r_g = 0,16 \pm 0,12$) und der Anzahl lebend geborener Ferkel waren demzufolge kaum als belastbarer Indikator einer antagonistischen Beziehung zwischen Ebergeruch und Ferkelanzahl zu interpretieren. Ähnlich verhielt es sich mit den Korrelationen zu der Anzahl abgesetzter Ferkel und zu der Zwischenwurfzeit. Die widersprüchlichen genetischen Beziehungen der Zwischenwurfzeit zu Androstenon ($r_g = -0,52$) und Skatol ($r_g = 0,42$) waren vor dem Hintergrund der sehr niedrigen Heritabilität der Zwischenwurfzeit ($h^2 = 0,03$) nicht interpretationsfähig.

Das Merkmal Efa stellte eine Ausnahme dar. Zum einen wies dieses Merkmal eine relativ hohe Heritabilität auf, zum anderen waren die genetischen Korrelationen zu den Merkmalen Androstenon und Skatol nahezu doppelt so hoch wie der korrespondierende Standardfehler. Unter Berücksichtigung der physiologischen Zusammenhänge ist

demzufolge ein möglicher Antagonismus zwischen Ebergeruch und Erstferkelalter aus den verfügbaren Daten nachweisbar. Somit würde das Erstferkelalter in den Linien mit geringem Androstenongehalt vermutlich verlängert sein, was bei der Zuchtplanung zur Verminderung des Ebergeruchs berücksichtigt werden sollte.

Tab. 23: Genetische (r_g) und phänotypische (r_p) Korrelationen zwischen Ebergeruchskomponenten und maternaler Fruchtbarkeitsmerkmalen sowie deren Heritabilitäten (h^2) (\pm Standardfehler)

	Androstenon (ln)		Skatol (ln)		h^2
	r_g	r_p	r_g	r_p	
Lebend geborene Ferkel pro Wurf	$0,10 \pm 0,22$	0,02	$0,16 \pm 0,12$	0,03	$0,08 \pm 0,01$
Zwischenwurfzeit	$-0,52 \pm 0,35$	-0,07	$0,42 \pm 0,34$	0,05	$0,03 \pm 0,01$
Erstferkelalter	$-0,44 \pm 0,25$	-0,15	$-0,25 \pm 0,14$	-0,07	$0,20 \pm 0,02$
Abgesetzte Ferkel pro Wurf	$-0,47 \pm 0,43$	-0,10	$-0,02 \pm 0,14$	-0,01	$0,07 \pm 0,01$

4.4.3 Zucht gegen Ebergeruch

4.4.3.1 Zuchtwertschätzung

Unter Verwendung der geschätzten genetischen Parameter für die Merkmale Androstenon und Skatol wurden die entsprechenden Zuchtwerte multivariat nach dem Modell in Tabelle 9 geschätzt. Hierbei ist zu beachten, dass durch den fixen Modellfaktor Saison \times LPA \times Haltungform eventuelle genetische Unterschiede zwischen den LPA nivelliert wurden. Eine Trennung von genetischen und LPA spezifischen Umwelteffekten war wegen des vornehmlich regionsspezifischen Einsatzes der Besamungseber und Herkunft der angepaarten Sauen nicht möglich.

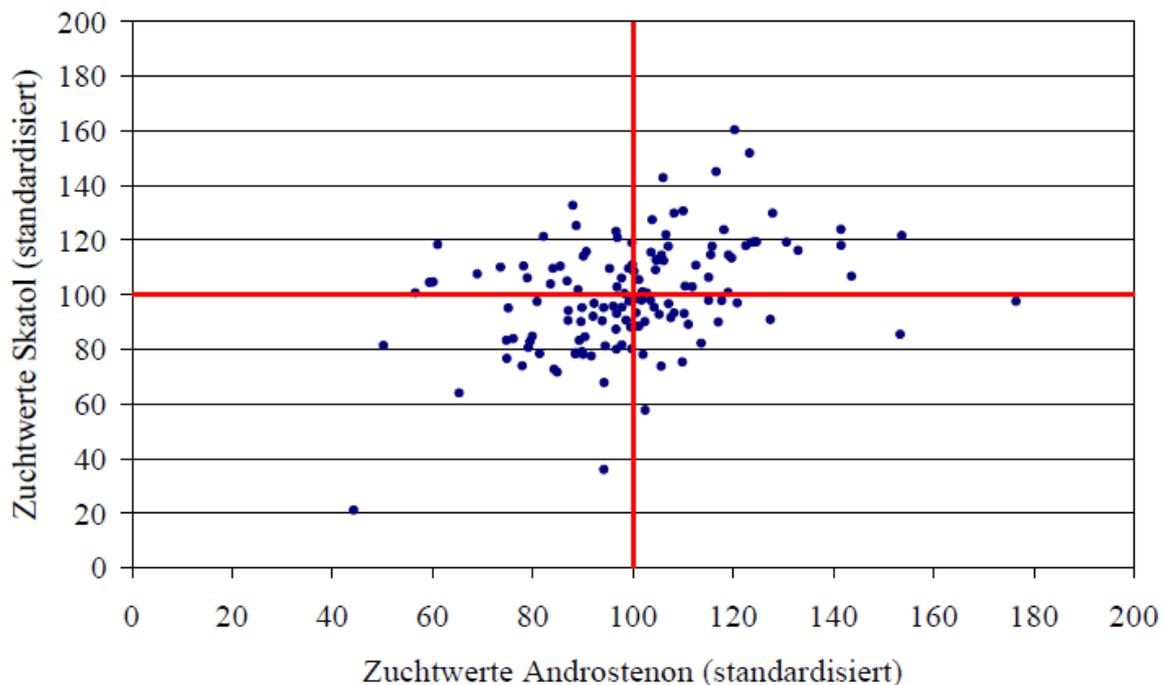


Abb. 10: Zuchtwerte von Androstenon (ln) und Skatol (ln) der KB-Eber (N = 136), standardisiert auf den Mittelwert 100 und Standardabweichung 20

In der Abbildung 10 sind die auf einen Mittelwert von 100 und eine Standardabweichung von 20 standardisierten Skatol- (ln) und Androstenonzuchtwerte (ln) aller Besamungseber in einem Streudiagramm dargestellt. Aufgrund der relativ geringen genetischen Korrelation zwischen Androstenon und Skatol war die zu beobachtende, nahezu unabhängige

Verteilung beider Zuchtwerte zu erwarten. Hieraus lässt sich ableiten, dass eine züchterische Bearbeitung beider Ebergeruchsstoffe notwendig ist, um den Anteil geruchsbelasteter Eberschlachtkörper effizient zu reduzieren.

4.4.3.2 Selektionsstrategien gegen Ebergeruch

Für eine Schweinezuchtorganisation stellt sich die Frage, welche Zuchterfolge sich für das Merkmal Ebergeruch mit welcher Selektionsstrategie erreichen lassen. Um eine entsprechende Antwort liefern zu können, wurden verschiedene Szenarien einer züchterischen Bearbeitung in Form einer Simulation auf Basis der Indextheorie analysiert.

Ausgangslage der Berechnungen war die Situation eines deutschen Schweineherdbuchzuchtverbandes mit einem stationären Leistungsprüfsystem. Die für die Indexberechnung benötigten genetischen und phänotypischen Parameter stammen überwiegend aus den eigenen Untersuchungen (Abschnitt 4.4) oder Literaturangaben (CIOBANU et al. 2011; CLUTTER 2011; HABIER et al. 2004; LFL TIERZUCHT 2010; SELLIER 1998; SELLIER et al. 2000; WINDIG et al. 2012; WÜNSCH et al. 1999). In Tabelle 24 und 25 sind die für die Berechnungen angenommenen Parameter zusammengestellt.

Im Rahmen der Planungsberechnungen sollte neben den Merkmalen Anzahl abgesetzter Ferkel, Alter bei erster Belegung, Tägliche Zunahme, Futtermittelverwertung und Fleischanteil des Schlachtkörpers als Zuchtzielmerkmal der laboranalytisch erfasste Androstenonengehalt im Rückenspeck dienen. Auf die Integration des Merkmals Skatol wurde verzichtet, da angenommen wird, dass sich dieses Merkmal effizient durch haltungstechnische Maßnahmen unter anderem reduzieren lässt.

Die Erfassung des Ebergeruchs erfolgte alternativ mit drei verschiedenen Informationsmerkmalen für den Ebergeruch: 1) laboranalytisch durch Messung des Androstenongehaltes des Selektionskandidaten selbst, mit Hilfe einer Mikrobiopsie im Nackenspeck ("Labor"), 2) molekulargenetisch mit Hilfe der Genomischen Selektion ("GS") und 3) subjektiv mittels Human Nose Scoring ("HNS") von männlichen unkastrierten Halbgeschwistern des Probanden.

Die verwendeten Informations- und Selektionsmerkmale der Leistungsprüfung sind in Tabelle 24 aufgeführt. Darin enthalten sind die Art der Datenerhebung (Feld- oder

Stationsprüfung) und die Quelle der Informationen (Eigen-, Mutter- oder Geschwisterleistung).

Tab. 24: Merkmale der Leistungsprüfung zur Zuchtwertschätzung des Ebers

Informations- (IM) /Selektionsmerkmal (SM)	Informant	
Ebergeruch, "Labor" (IM/SM)	Eigenleistung Eber = Proband	S
Ebergeruch, "GS" (IM)	Eigenleistung Eber	S
Ebergeruch, "HNS" (IM)	3 × 10 Voll- bzw. Halbgeschwister des Probanden	F
Anzahl abgesetzter Ferkel (IM/SM)	Mutter des Probanden, 2 Würfe	F
Alter bei erster Belegung (IM/SM)	Mutter des Probanden	F
Tägliche Zunahme, Futtermittelverwertung, Fleischanteil des Schlachtkörpers (IM/SM)	2 × 3 Voll- bzw. Halbgeschwister des Probanden	S

S = Stationsprüfung; F = Feldprüfung

Die Angaben gelten für die Selektion auf der Seite des Ebers (Vaterseite). Da die Messung des Ebergeruchs nicht bei Sauen möglich ist, stammten die für die Selektion von Sauen benötigten Androstenoninformationen "Labor" bzw. "GS" von den Vätern der weiblichen Selektionskandidaten.

Auf der Vater- bzw. Mutterseite wurden die 10 bzw. 50 % besten Tiere als Elterntiere der nächsten Generation ausgewählt.

Für das Merkmal "Labor" und "HNS" wurden zum einen Heritabilitäten von 0,6 bzw. 0,15 unterstellt, zum anderen eine genetische und phänotypische Korrelation zueinander von 0,7 bzw. 0,3. In allen Varianten wurde der naturale Selektionserfolg für das Alter bei der ersten Belegung auf unter 0 begrenzt, um einen unerwünscht positiven Zuchterfolg in diesem Merkmal zu vermeiden. Zwischen den beiden Varianten des Ebergeruchs "HNS" und "Labor" und den Fruchtbarkeitsmerkmalen wurde eine unerwünschte genetische Korrelation von $r_g = r_p = |0,2|$ bzw. $|0,3|$ ($r_g = (-)$ Alter 1. Belegung; (+) Anzahl abgesetzte

Ferkel) unterstellt (Tab. 26). Diese Korrelationskoeffizienten wurden zur Berechnung der Korrelationen zwischen "GS" und den Fruchtbarkeitsmerkmalen entsprechend den Formeln von DEKKERS (2007) verwendet. Hinsichtlich der Genauigkeit der Genomischen Selektion wurde ein Wert von 80 % angenommen, abgeleitet nach der Formel von DAETWYLER et al. (2010).

Die verwendeten ökonomischen Gewichte (Tab. 25) unterschieden sich für die Vater- und Mutterlinie deutlich. Bei den Mutterlinien stand das Merkmal abgesetzte Ferkel, bei den Vaterlinien die Schlachtkörperzusammensetzung im Vordergrund.

Tab. 25: Genetische Parameter der in der Indexselektion verwendeten Merkmalen

	"Labor"	"HNS"	"GS"	Agf	Alter 1. Bel.	Tgz	Fa, Bonn	Fvw
h^2	0,6	0,15	1,0	0,1	0,2	0,35	0,55	0,35
c^2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2
s_p	1,0	1,0	-	1,9	30	97	2,7	0,17
w_{Mutter}	*	-	-	15,0	0,0	0,10	1,0	-12,3
w_{Vater}	*	-	-	7,5	0,0	0,10	1,5	-30,0

Agf = abgesetzte Ferkel; Alter 1. Bel. = Alter bei erster Belegung; Tgz = tägliche Zunahme;
 Fa, Bonn = Muskelfleischanteil nach Bonner Formel; Fvw = Futtermittelverwertung;
 h^2 = Erblichkeitsgrad, c^2 = Wurfumwelteffekt; s_p = phänotypische Standardabweichung;
 w_{Mutter} = ökonomisches Gewicht bei der Mutterlinie; w_{Vater} = ökonomisches Gewicht bei der Vaterlinie
 * w-Werte von "Labor" werden für jedes Szenario einzeln berechnet

Das ökonomische Gewicht des Selektionsmerkmals Ebergeruch ("Labor") wurde so festgelegt, dass 70 % des Selektionserfolges der Ausgangsvariante ohne Berücksichtigung, des Ebergeruchs als Informations- und Selektionsmerkmal, erhalten bleibt.

Tab. 26: Korrelationen (r) zwischen den in der Indexselektion verwendeten Merkmalen (Oberhalb der Diag.: phänotypische r; unterhalb der Diag.: genetische r)

	"Labor"	Agf	Alter 1. Bel.	Tgz	Fa, Bonn	Fvw	"HNS"	"GS"
"Labor"		0,2/ 0,3	-0,2/ -0,3	0,0	-0,2	0,0	0,3	0,62
Agf	0,2/ 0,3		0,0	0,0	0,0	0,0	0,2/ 0,3	0,04/ 0,06
Alter 1. Bel.	-0,2/ -0,3	0,0		-0,1	0,0	0,0	-0,2/ -0,3	-0,07/ -0,11
Tgz	0,1	0,1	-0,1		-0,2	-0,6	0,0	0,05
Fa, Bonn	-0,2	0,0	0,0	-0,2		-0,2	-0,2	0,12
Fvw	0,1	0,0	0,0	-0,7	-0,2		0,0	0,05
"HNS"	0,7	0,2/ 0,3	-0,2/ -0,3	0,1	-0,2	0,1		0,22
"GS"	0,8	0,16/ 0,24	-0,16/ -0,24	0,08	-0,16	0,08	0,56	

(Agf = abgesetzte Ferkel; Alter 1. Bel = Alter bei erster Belegung; Tgz = tägliche Zunahme; Fa, Bonn = Muskelfleischanteil nach Bonner Formel; Fvw = Futtermittelverwertung)

In Abbildung 11 ist exemplarisch die Ableitung des ökonomischen Gewichtes für das Merkmal Ebergeruch bei einer Vaterlinie dargestellt. Dabei wurde eine genetische Beziehung zwischen den Merkmalen der Fruchtbarkeit und dem Ebergeruch von 0,2 (Agf) bzw. -0,2 (Efa) unterstellt. In der Abbildung ist ersichtlich, dass bei einem ökonomischen Gewicht für Androstenon von 0, die relative Effizienz nicht bei 100 sondern bei ca. 102 % lag. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Ausgangsvariante Androstenon weder als Selektions- noch als Informationsmerkmal enthielt. Bei $w = 0$ ergab sich kein Selektionserfolg für Androstenon, jedoch fungierte das Merkmal als zusätzliche Information für die Fruchtbarkeitsmerkmale, aufgrund der negativen Beziehung zueinander, was einen etwas höheren Selektionserfolg in diesen Merkmalen zur Folge hatte.

Mit zunehmender Gewichtung des Ebergeruchs sank die relative Effizienz des ökonomisch bewerteten Gesamtzuchtfortschrittes in einer nicht linearen, S-förmigen Art und Weise (rote Linie). Bei einer relativen Effizienz von 70 % wies das Merkmal Ebergeruch ein ökonomisches Gewicht von -4,00 € auf. Der entsprechende Zuchtfortschritt für das Merkmal Androstenon (ln) belief sich auf -0,46 ln (ng/g Fett). Auch beim Merkmal Agf ließ sich ein leicht positiver Zuchtfortschritt von +0,02 abgesetzte Ferkel erkennen. Eine weitere Verminderung des ökonomischen Gewichtes auf -5,00 € würde zu einer deutlicheren Reduktion im Androstongehalt (-0,54 ln (ng/g Fett)) führen. Gleichzeitig würde die Effizienz jedoch auf <60 % sinken und der Zuchtfortschritt im Merkmal Agf wäre leicht negativ.

Tabelle 27 beinhaltet die ökonomischen Gewichte (w) für Androstenon bei einer unterstellten relativen Effizienz von 70 % gegenüber dem Ausgangsszenarium. Dabei wurden die ökonomischen Gewichte der übrigen Merkmale (Vater- und Mutterlinie, siehe Tab. 25) und die genetischen Beziehungen zwischen Fruchtbarkeit und Ebergeruch variiert. Bei Erhöhung der Beziehung zwischen Androstenon und den Fruchtbarkeitsmerkmalen auf |0,3| und der gleichen relativen Effizienz von 70 % blieb der naturale Selektionserfolg für Anzahl abgesetzter Ferkel gleich. Jedoch verringerte sich dadurch der Selektionserfolg für den Androstenongehalt auf -0,34 ln (ng/g Fett) je Generation. Deutlich niedrigere Selektionserfolge waren bei den Mutterlinien zu verzeichnen. Diese waren aufgrund der starken Bedeutung der Fruchtbarkeit bei Mutterlinien und der unerwünschten Beziehung dieses Merkmalkomplexes zum Ebergeruch, zu erwarten. Deutlich höhere Selektionserfolge im Merkmal Ebergeruch

ließen sich demnach bei Mutterlinien nur auf Kosten der übrigen Merkmalskomplexe realisieren. Die entsprechenden Abbildungen für die Zucht gegen Ebergeruch in Vater- und Mutterlinien sind im Anhang zu finden (Abb. A2 – A4).

Tab. 27: Selektionserfolge (SE) im Merkmal Ebergeruch (In (ng/g Fett)) und Anzahl abgesetzter Ferkel in unterschiedlichen Parameter- und Selektionsszenarien bei 70 % relativer Effizienz

	r_g And. - Fruchtbarkeit = 0,2			r_g And. - Fruchtbarkeit = 0,3		
	Androstenon		Anz. abg. Ferkel	Androstenon		Anz. abg. Ferkel
	w	SE	SE	w	SE	SE
Vaterlinie						
"Labor"	-3,9	-0,46	+0,02	-3,6	-0,34	+0,01
"GS"	-3,8	-0,47	+0,02	-3,5	-0,35	+0,01
"HNS"	-10,4	-0,25	+0,02	-9,0	-0,20	+0,00
"Labor + GS"	-3,4	-0,50	+0,01	-3,2	-0,36	+0,01
"GS + HNS"	-3,7	-0,48	+0,01	-3,5	-0,36	+0,01
"Labor + HNS"	-3,9	-0,46	+0,02	-3,6	-0,35	+0,01
Mutterlinie						
"Labor"	-4,5	-0,31	+0,11	5,0	-0,20	+0,11
"GS"	4,4	-0,31	+0,11	4,9	-0,20	+0,11
"HNS"	-10,5	-0,18	+0,10	-10,0	-0,12	+0,10
"Labor + GS"	4,1	-0,33	+0,11	4,7	-0,21	+0,11
"GS + HNS"	4,4	-0,32	+0,11	5,0	-0,21	+0,11
"Labor + HNS"	4,5	-0,31	+0,12	5,0	-0,20	+0,11

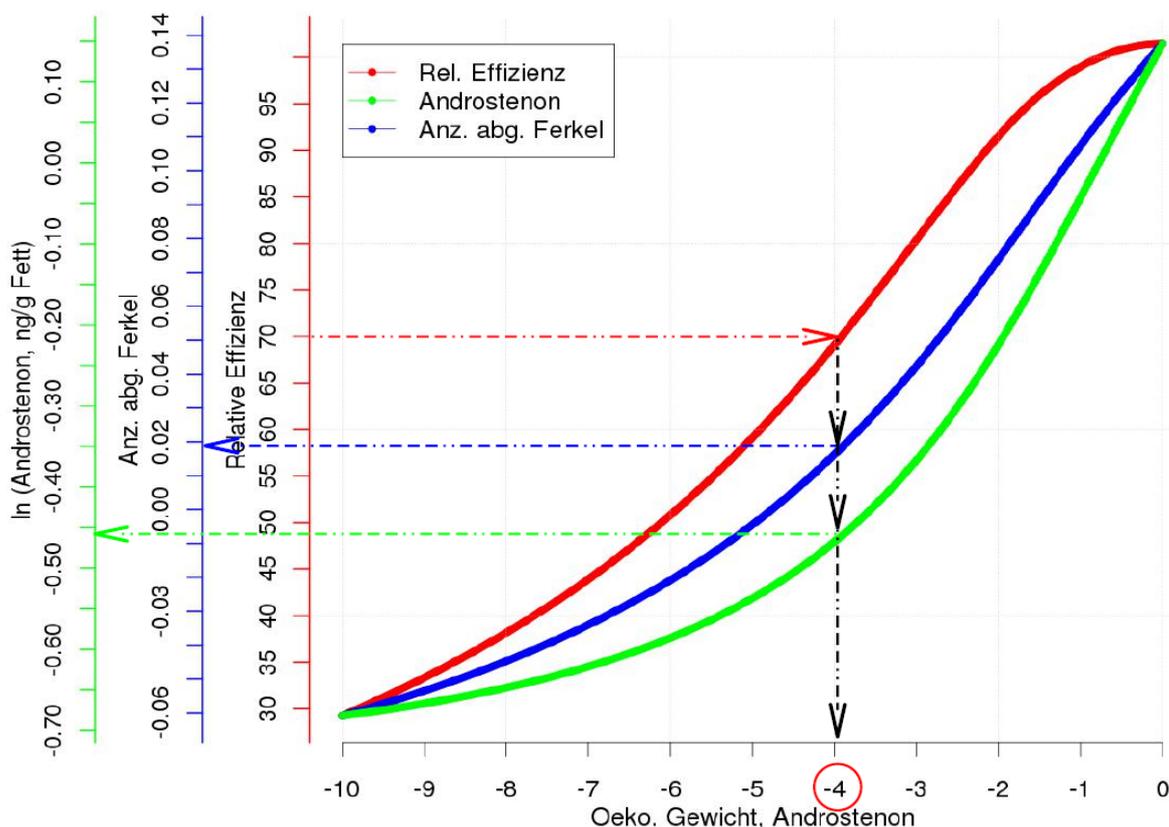


Abb. 11: Graphische Ableitung zur Bestimmung der 70 % relativen Effizienz und der dazugehörigen Selektionserfolge für den Ebergeruch und eines der Fruchtbarkeitsmerkmale. (Vaterlinie, "Labor", unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = $|0,2|$)

Im nächsten Schritt wurden auf der Basis der zu erwartenden Selektionserfolge im Merkmal Ebergeruch, die relativen Anteile potentiell geruchsbelasteter Schlachtkörper berechnet. Grundlage hierfür war die Normalverteilungstheorie und eine Ausgangspopulation, in der 50 % der Eberschlachtkörper ein hohes Risiko für Geruchsabweichungen mit einem Androstenon Gehalt von mehr als 1000 ng/g Fett aufwiesen. Diese Tiere werden im weiteren Verlauf als Risikotiere tituiert. In Abbildung 12 wird die Reduktion der Anteile solcher Schlachtkörper sowohl für die Mutter- als auch für die Vaterlinie im Rahmen eines 20 Generationen andauernden Selektionsprozesses abgebildet. Dabei wurden die oben beschriebenen ökonomischen Gewichtungen des Ebergeruchs benutzt sowie alternativ, unerwünschte genetische Beziehungen zwischen Ebergeruch und Fruchtbarkeit von $r_g = |0,2|$ bzw. $|0,3|$ unterstellt.

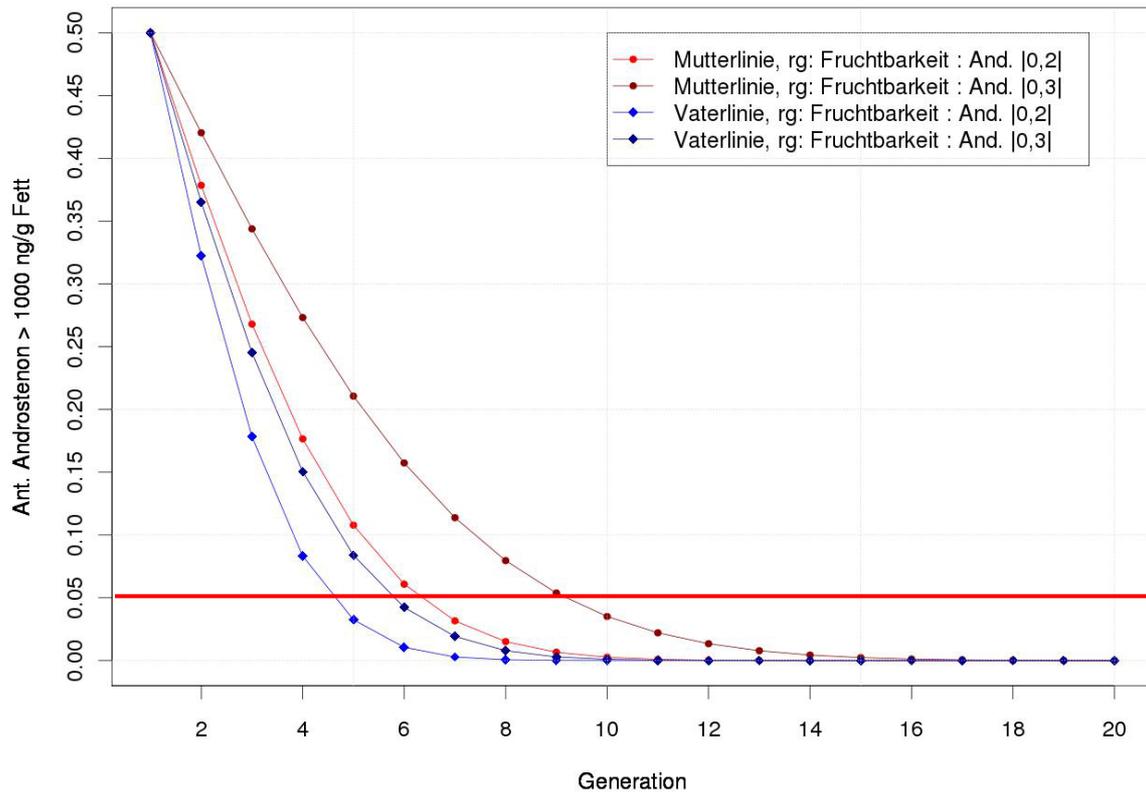


Abb. 12: Veränderung des Anteils an Ebern mit einem Androstenongehalt >1000 ng/g Fett bei der Selektion gegen Ebergeruch mit Hilfe des Informationsmerkmals "Labor". Annahme: Verbleibender Zuchterfolg im Vergleich zur Ausgangssituation: 70 %

Unter den genannten Voraussetzungen wurden auf der Vaterseite ca. 4 ($r_g = |0,2|$) bzw. 5 Generationen ($r_g = |0,3|$) benötigt, um den Anteil Eber mit erhöhtem Geruchsrisiko (>1000 ng/g Fett Androstenon) von 50 % auf unter 5 % (rote Linie) zu reduzieren. Diese 5 % Schwelle wurde heuristisch unterstellt. Bei einem Generationsintervall von 2 Jahren wurden somit 8 – 10 Jahre benötigt, um ein Niveau von 5 % zu erreichen. Wurde eine Häufigkeit von 20 % potentiell geruchsbelastete Schlachtkörper in der Ausgangspopulation unterstellt, so reduzierten sich die benötigten Zeiträume, um das 5 % Ziel zu erreichen, etwa um die Hälfte.

Bei einer Mutterlinie mit 50 % (20 %) betroffenen Ebern wurde mit 6 (3) ($r_g = |0,2|$) bzw. 9 (4) ($r_g = |0,3|$) Generationen ein um ca. die Hälfte längerer Zeitraum benötigt als bei der Vaterlinie, um den Anteil auf unter 5 % zu reduzieren.

Nach Erreichen der 5 % Schwelle waren weitere Reduktionen der Anteile an Risikotiere deutlich schwerer zu realisieren. Würde ab der 5 % Schwelle das Ziel verfolgt werden, eine Population mit einem Anteil an Risikotieren <1 % in einer Vater- bzw. Mutterlinie zu züchten, so wären in allen Fällen weitere 2 bis 3 Generationen notwendig.

In den bisher vorgestellten Berechnungen wurden die jeweiligen Selektionserfolge für das Szenarium mit dem Informationsmerkmal "Labor" berechnet, bei dem das Merkmal Ebergeruch beim Eber selbst oder beim Vater der Sau gemessen wurde. Alternativ zu dieser Ausgangsvariante wurden die Zuchterfolge vergleichend für die Szenarien mit der Genomischen Selektion "GS" und der subjektiven Bewertung des Ebergeruchs "HNS" als Informationsmerkmale für den Ebergeruch berechnet.

Abbildung 13 und Tabelle 27 zeigen den Selektionserfolg (SE) der drei Szenarien jeweils für die Mutter- und Vaterlinie. Beim Vergleich der beiden Szenarien "GS" und "Labor" ließen sich keine Unterschiede in der Höhe des Zuchterfolges oder Anzahl der Generationen erkennen, die benötigt wurden, um die 5 % Risikogrenze zu unterschreiten. Die Entscheidung, welches Verfahren in einem Zuchtverband zum Einsatz kommen sollte, hängt demzufolge von den verursachten Kosten ab. Eine Messung der Ebergeruchskomponenten lag zum Zeitpunkt dieser Untersuchung mit 40 bis 60 € (eigene Kostenerhebung) vermutlich deutlich niedriger als die Kosten einer Typisierung mittels SNP-Chiptechnologie mit 90 € pro Tier (P.HOFMANN, persönliche Mitteilung), welche für die Genomische Selektion benötigt wird. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass das GS-Werkzeug nicht nur für das Merkmal Ebergeruch, sondern auch für die Beschleunigung der Zuchterfolge in den anderen Selektionsmerkmalen herangezogen werden könnte. Ein Vergleich der Szenarien "Labor" und "GS" wurde unter diesen Voraussetzungen im Rahmen der Arbeit nicht durchgeführt.

Im Vergleich zu den Varianten "GS" und "Labor" schnitt das Selektionsszenarium "HNS" im Hinblick auf potentielle Selektionserfolge im Merkmal Ebergeruch erkennbar schlechter ab. Der Selektionserfolg der Variante "HNS" erzielte dabei nur zwischen 50 und 60 % des Zuchterfolges der beiden anderen Szenarien. Ausgehend von 50 % Risikoebern wurden mit der "HNS" Strategie in der Vaterlinie 7 bis 9 und in der Mutterlinie 10 bis 14 Generationen benötigt, um einen Anteil von weniger als 5 % potentiell geruchsbelasteter Eberschlachtkörper zu erreichen. Trotz der beachtlichen Verlängerung der benötigten Zeiträume, wäre das "HNS" Verfahren aus Kostengründen eine u. U. sinnvolle Alternative, da diese Informationen - bei entsprechender Anwendung des Human Nose Scorings als

Identifikationsmöglichkeit für geruchsbelasteter Schlachtkörper - in den Schlachthöfen nahezu kostenneutral für die Zuchtorganisationen zur Verfügung stünden.

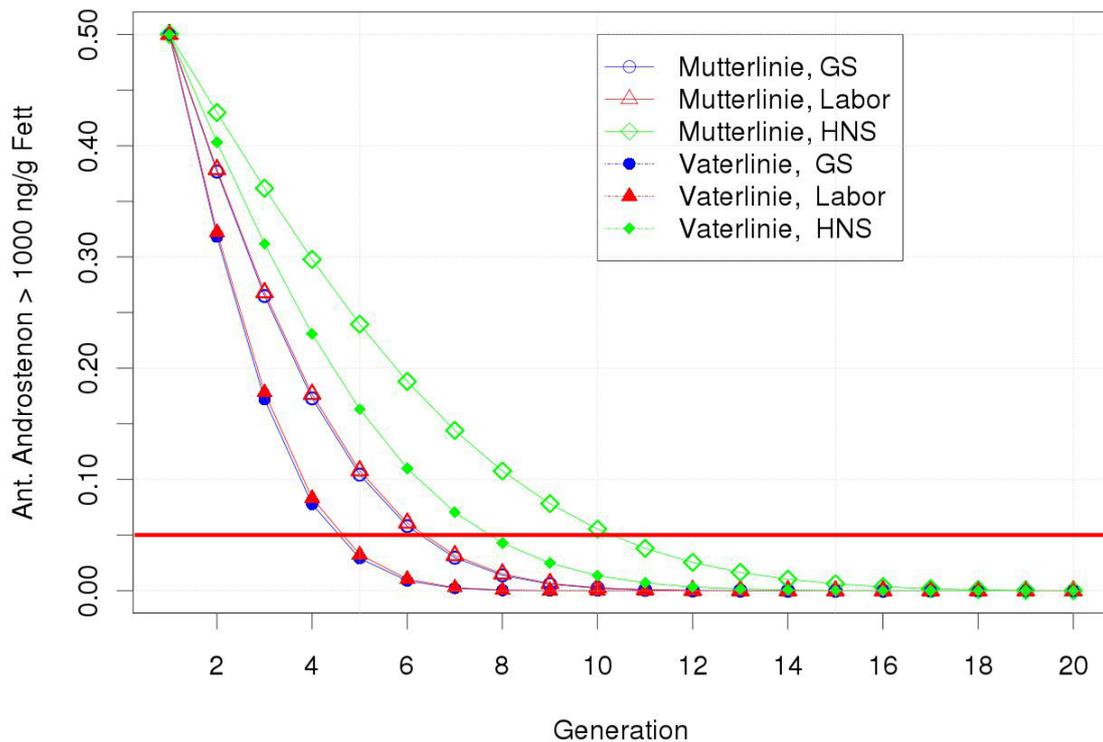


Abb. 13: Veränderung des Anteils an Eber mit einem Androstenon Gehalt >1000 ng/g Fett bei der Selektion gegen Ebergeruch mit Hilfe unterschiedlicher Informationsmerkmalen ("GS", "Labor", "HNS"). Annahmen: Verbleibender Zuchterfolg im Vergleich zur Ausgangssituation: 70 %; unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = $|0,2|$

In einem letzten Schritt wurden die jeweiligen Selektionsvarianten miteinander verknüpft, durch das Kombinieren der Informationsmerkmale. Im Vergleich zu den Ausgangsvarianten "Labor" und "GS" konnte durch die Kombination aus deren Informationen kaum relevant höhere Zuchterfolge erreicht werden (Tab. 27). In ähnlicher Weise ließen sich die Selektionserfolge der Varianten "Labor" und "GS" durch Verknüpfung mit der Variante "HNS" nicht weiter steigern. Demzufolge stellte die Variante "HNS" bei Verfügbarkeit von genomischen oder laboranalytischen Informationen bestenfalls eine kostengünstige Ergänzung dar.

5 Diskussion

Unter den derzeitigen politischen Voraussetzungen ist vornehmlich aus Gründen des Tierschutzes davon auszugehen, dass die betäubungslose chirurgische Kastration von männlichen Ferkeln mittelfristig in der Europäischen Gemeinschaft verboten wird.

Eine umfassende Etablierung der Mast männlicher unkastrierter Jungeber als eine mögliche Alternative zur Kastration ist im Wesentlichen abhängig von der Häufigkeit des Auftretens geruchsbelasteter Schlachtkörper und der Überlegenheit der Ebermast in den übrigen Produktionsmerkmalen. Im Hinblick auf diese beiden Fragestellungen ist es notwendig, die Auswirkungen der unterschiedlichen Produktions- und Haltungssysteme auf die Merkmale Ebergeruch und Fleischleistung zu quantifizieren.

5.1 Unterschiede in der Produktionsleistung zwischen Ebermast und der Mast von Sauen und Kastraten

Die Ökonomie der Ebermast wird neben der Geruchsbelastung der Schlachtkörper im Wesentlichen durch die Unterschiede der Eber in wichtigen Fleischleistungsmerkmalen im Vergleich zu den beiden anderen Geschlechtern beeinflusst. Ein Vorteil der Eber gegenüber den Kastraten ist insbesondere bei den Merkmalen Schlachtkörperzusammensetzung und Futtermittelverwertung zu erwarten. Ursache für diese Überlegenheit der Eber sind die beiden Steroide, Androgene und Östrogene, welche das anabole Potential der Eber gegenüber Kastraten deutlich erhöhen (CLAUS et al. 1994). Dadurch können Eber gegen Ende der Mast ihr Fleischansatzvermögen voll ausschöpfen, während Kastrate früher und zunehmend verfetten. Sauen nehmen in diesem Punkt eine mittlere Stellung ein (BRACHER-JAKOB 2000).

Die Quantifizierung der Unterschiede zwischen den Geschlechtern war Gegenstand einer Reihe von Untersuchungen (z.B.: DOBROWOLSKI et al. 1995; NOLD et al. 1997; PAULY et al. 2008; PREINERSTORFER et al. 2010). In all diesen Studien wurde im Hinblick auf die durchschnittlichen Produktionsleistungen eine weitestgehend gleiche Rangierung der Geschlechter beobachtet. Eventuell auftretende Unterschiede sind vor dem Hintergrund der untersuchten Rasse und der unterschiedlichen Mastendgewichte innerhalb der Versuche zu erklären.

Im vorliegenden Versuch zeigten die Eber im Merkmal Fleischanteil der Schlachtkörperhälfte eine signifikante ($p < 0,05$) Überlegenheit von 3,6 % gegenüber den Kastraten sowie tendenzielle Vorteile von 0,3 % gegenüber Sauen. Ähnliche Differenzen wurden auch in den oben genannten Arbeiten gefunden. So war der Unterschied der Eber gegenüber Kastraten im sogenannten Bundesebermastversuch von 1995 mit 60,0 % zu 54,7 % noch größer.

Das Merkmal Futterverwertung besitzt insbesondere bei hohen Futterpreisen im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Ebermast eine hohe Bedeutung (ADAM 2009). Darüber hinaus besitzt dieses Merkmal aus Gründen des Umweltschutzes und der Ressourcenschonung von Luft, Boden und Wasser einen besonderen Stellenwert (ADAM 2012b; BRACHER-JAKOB 2000). In unserem Versuch verbrauchten die Eber 0,32 bzw. 0,17 kg weniger Futter je kg Zuwachs ($p < 0,05$) gegenüber den Kastraten und Sauen. Diese Differenzen wurden in zahlreichen Studien bestätigt (ADAM 2012b; HOPPENBROCK 1995; PREINERSTORFER et al. 2010).

Aus Gründen der Produktionseffizienz war die in der vorliegenden Arbeit signifikant ($p < 0,05$) geringere Ausschachtung der Eber gegenüber Sauen (-1,6 %) und Kastraten (-0,4 %) als Nachteil anzuführen. Die in der Literatur aufgeführten Ergebnisse erstreckten sich zwischen 2,5 % geringere Ausschachtung seitens der Eber bis hin zu keinen feststellbaren Differenzen zwischen den Geschlechtern. Der Vergleich dieser publizierten Ergebnisse, war zum Teil problematisch, da das Herausschneiden der Hoden im Rahmen des Schlachtprozesses unterschiedlich gehandhabt wurde (BABOL und SQUIRES 1995). An der niedrigen Ausschachtung der Eberschlachtkörper ist hauptsächlich der Gewichtsverlust aufgrund des Entfernens der Reproduktionsorgane beteiligt (BRACHER-JAKOB 2000). Der Hoden inklusive Nebenhoden (ohne Haut-, Fett- und Bindegewebe) kann 0,6 bis 0,7 kg wiegen (ADAM et al. 2009). In der Übersichtsarbeit von BABOL & SQUIRES (2000) wurden zusätzlich die schwereren Nieren der Eber und der höhere Anteil des Kopfes, der Füße und Eingeweide am Gesamtschlachtkörper der Eber als mögliche Begründung der Ausschachtungsdefizite aufgezählt.

Bei der täglichen Zunahme variierte die Rangfolge je nach Studie. In der aktuellen Studie nahmen Kastrate täglich signifikant ($p < 0,05$) mehr zu als Eber und Sauen (+47 bzw. +57 g/Tag), wobei Eber nur tendenziell höhere Tageszunahmen erzielten als Sauen (+10 g/Tag). Die Schweizer-Studie „Proschwein“ (KUPPER und SPRING 2008) bestätigte diese Unterlegenheit der Eber gegenüber den Kastraten. Auch im Bundesebermastversuch

von 1995 (HOPPENBROCK 1995) nahmen Eber 6 bis 12 g/Tag weniger zu als Kastrate, jedoch war dieser Unterschied nicht statistisch absicherbar. Im Gegensatz zu unseren Ergebnissen nahmen die Eber in der Studie von PREINERSTORFER et al. (2010) die höchste Stelle in der Rangfolge bezüglich der täglichen Zunahmen ein, gefolgt von den Kastraten und den Sauen.

Bezüglich der beiden Merkmale der Fleischbeschaffenheit, pH_1 , Kotelett und LF_{24} , Kotelett wurden nur tendenzielle Unterschiede gefunden. In dem Bundesebermastversuch 1995 (HENNING et al. 1995) wurde zwar ein signifikant ($p < 0,05$) höherer pH_1 , Kotelett-Wert bei den Ebern im Vergleich zu den Kastraten gemessen, jedoch betrug der Unterschied nur 0,03. Die meisten Studien zeigten hierbei keine Differenzen zwischen den Geschlechtern (Übersichtsarbeit von BABOL und SQUIRES 1995). Hinsichtlich der Leitfähigkeit im Kotelett (LF_{24K_0}) wurde unser Ergebnis von dem des Bundesebermastversuches 1995 (HENNING et al. 1995) bestätigt. Der pH Wert im Schinken nach 24 Stunden war bei den Ebern des vorliegenden Versuches um nur 0,04 signifikant ($p < 0,05$) niedriger als bei den Sauen. Obwohl der Unterschied signifikant war, fiel er gering aus und alle Werte befanden sich in einem Bereich, der mit einer guten Fleischbeschaffenheit assoziiert ist. Die Kastraten unterschieden sich hierbei nicht signifikant von den beiden anderen Geschlechtern und nahmen eine mittlere Position ein. In der Literatur wurde dieses Ergebnis einerseits bestätigt, andererseits wurde über höhere pH Werte bei den Ebern berichtet (Übersichtsarbeit von BABOL und SQUIRES 1995).

Der intramuskuläre Fettgehalt war bei den Ebern mit 0,81 % am geringsten ($p < 0,05$) gegenüber den Sauen (0,93 %) oder Kastraten (1,24 %). Die gleiche Rangierung fanden auch ADAM (2012b) und FISCHER & WEILER (1995). Bei der Studie von BARTONGADE (1987) nahmen die Eber eine mittlere Stellung ein, wobei die Kastraten nach wie vor den höchsten intramuskulären Fettgehalt aufzeigten. Im Allgemeinen gilt ein intramuskulärer Fettgehalt von 2 bis 2,5 % als wünschenswertes Optimum für eine gute Fleischqualität (MÖRLEIN 2007). Dieses Optimum wurde weder von den Kastraten noch von den Sauen oder Ebern auch nur annähernd erreicht. Dieses Ergebnis wurde auch von MÖRLEIN (2007) bestätigt, der in seinen Untersuchungen mit mehreren Rassen besonders niedrige IMF-Gehalte in fettärmeren Piétrain-Linien feststellte.

Zusammenfassend bestätigten die im Rahmen der Arbeit gefundenen Ergebnisse die Überlegenheit der Ebermast insbesondere in den Merkmalen der Schlachtkörperzusammensetzung und der Futtermittelverwertung. Eine abschließende,

ökonomische Bewertung des Produktionsverfahrens Ebermast und die Konsequenzen für den Umwelt- und Ressourcenschutz ist mit den gefundenen Differenzen möglich, wurde jedoch im Rahmen der Arbeit nicht weiter verfolgt.

5.2 Anteil an risikobehaftende Schlachtkörper für Geruchsabweichung

Zur Charakterisierung der Ebergeruchsproblematik in Deutschland wurde zunächst der Status quo der Anteile an geruchsbelasteter Schlachtkörpern benötigt. Hierfür wurden die Eber anhand ihrer Gehalte an Androstenon und Skatol in verschiedene Risikogruppen für Geruchsabweichungen eingeteilt. Bei Verwendung der in älteren Untersuchungen häufig angewendeten Grenzwerte (Abschnitt 4.1) für Androstenon und Skatol von 500 ng bzw. 250 ng/g Fett wurden 51,9 % als risikofrei eingestuft. 9,3 % der Schlachtkörper lagen über dem Grenzwert für Skatol, 28,7 % über dem für Androstenon und 10,1 % über beiden Schwellenwerten. Ein Vergleich mit älteren Studien ist aufgrund unterschiedlicher Versuchsbedingungen und abweichender Analytik schwer möglich. Daher beschränkt sich der nachfolgende Diskussionsteil auf umfangreiche Untersuchungen, die unter ähnlichen Versuchsbedingungen in Deutschland oder den Niederlanden durchgeführt wurden.

Im sogenannten Bundesebermastversuch von 1995 (WEILER et al. 1995) und in dem Ebermastversuch von 2009 (Düsser Ebermastversuch) (ADAM et al. 2009) wurde die Häufigkeit geruchsbelasteter Eber mit den oben genannten Grenzwerte beurteilt. Hierbei deckte sich der Anteil an als risikofrei eingestuften Tieren der Studie von WEILER et al. (1995) mit 50,9 % mit dem der eigenen Untersuchung. Im Vergleich dazu lag dieser Anteil beim Düsser Versuch mit 31,9 % auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Bezüglich der alleinigen Überschreitung eines Grenzwertes für Skatol, lagen die prozentuellen Werte in beiden genannten Versuchen mit nur 1,1 % (Bundesebermastversuch) bzw. mit 4,6 % (Düsser Ebermastversuch) auf einem deutlich niedrigeren Niveau als in der eigenen Untersuchung, während bei Androstenon die Anteile mit 40,9 bzw. 52,8 % deutlich höher waren.

Diese Differenzen zwischen den Untersuchungen lassen sich durch Unterschiede in der geprüften Herkunft und/oder durch die genetische Veränderung innerhalb der Pi-Population erklären. So wurden in der Studie von 1995 die Herkünfte BHZP, Pi × DL und DE × DL untersucht. In den oben genannten Risikoanteilen wurden alle Herkünfte herangezogen. Bei der Herkunft DE × DL konnten in 68,8 % der Fälle risikofreie Eber

festgestellt werden. In den Herkünften BHZP und $Pi \times DL$ wurden allerdings nur 59,4 bzw. 50,0 % der Tiere als risikofrei eingestuft. Diese Anteile lagen im Vergleich zu den eigenen Ergebnissen auf einem ähnlichen Niveau.

Der Haltungseffekt, welcher noch in Abschnitt 5.3.3 ausführlicher diskutiert wird, kann als weiterer möglicher Grund für die unterschiedlichen Anteile zwischen den verschiedenen Studien aufgeführt werden. In dem Düsser Ebermastversuch von 2009 wurden 133 Eber in Gruppen und 81 Eber einzel gehalten, während in der Studie von 1995 alle Tiere in Zweiergruppen aufgestellt worden. Der Effekt der Haltung wird insbesondere im Düsser Versuch deutlich. Der Anteil von Tieren, bei denen mehr als 500 ng Androstenon pro g Fett gemessen wurde, lag in dieser Studie in der Gruppenhaltung (40,6 %) um 46,9 % höher als in der Einzelhaltung (87,5 %). Die entsprechenden Unterschiede beliefen sich bei Betrachtung der Skatolgrenze auf 20,6 % (Gruppenhaltung: 9,4 %, Einzelhaltung 30 %)

Die Beurteilung der Unterschiede im Anteil geruchsbelasteter Tiere in den verschiedenen Untersuchungen erfolgte bisher auf der Basis der oben genannten, in älteren Arbeiten häufig herangezogenen Grenzwerte für Androstenon und Skatol von 500 bzw. 250 ng/g Fett. Aktuelle sensorische Untersuchungen (BONNEAU und CHEVILLON 2012; LUNDE et al. 2010) zufolge müsste eine strengere Festlegung der Schwellenwerte für Skatol erfolgen, während liberalere Grenzwerte für Androstenon zu empfehlen sind (Abschnitt 2.1.3).

In der Studie von WINDIG et al. (2012) mit 7336 Ebern wurde ein Androstenongehalt von durchschnittlich $1,11 \pm 1,14 \mu\text{g/g}$ Fett und für Skatol von $104 \pm 144 \text{ ng/g}$ Fett gemessen. Die sensorischen Prüfer vergaben dabei im Durchschnitt für 69 % der untersuchten Speckproben von unkastrierten Ebern die Note 0 (nicht wahrnehmbarer Ebergeruch). Dieser Anteil variierte zwischen den einzelnen Prüfern von 49 bis 88 %. Wenn in der vorliegenden Studie die modifizierten und neueren Grenzwerte von beispielsweise 200 und 1000 ng/g Fett für Skatol bzw. Androstenon angewendet werden würden, hätte dies einen Anteil von 63,1 % an risikofreien Ebern zur Folge. Dies würde im Einklang mit der Studie von WINDIG et al. (2012) stehen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die durchschnittlichen Gehalte an Androstenon in der eigenen Untersuchung im Vergleich zur Studie von WINDIG et al. (2012) zwar geringer ausfielen ($632 \pm 720 \text{ ng/g}$ Fett), aber die Skatolgehalte auf höherem Niveau ($171 \pm 183 \text{ ng/g}$ Fett) lagen.

5.3 Umweltbedingte Einflussfaktoren auf die Komponenten des Ebergeruchs

5.3.1 Schlachtgewicht bzw. -alter

Das Schlachtgewicht und -alter wird in der Literatur häufig als ein wesentlicher Einflussfaktor für das Auftreten von Ebergeruch erwähnt. Ursache hierfür ist ein Zusammenhang zwischen dem Androstenongehalt und der sexuellen Entwicklung bzw. dem Eintritt in die Pubertät, die vom Alter und Gewicht der Eber beeinflusst wird (BABOL et al. 2004; CLAUS et al. 1994; PRUNIER et al. 1987). Die Skatolproduktion wird ebenfalls indirekt durch den sexuellen Status beeinflusst, da Androstenon und andere Hodensteroide (z.B. Östrogen) den Skatolabbau in der Leber hemmen (BABOL et al. 1999; DORAN et al. 2004; 2002).

Die genannten Hypothesen konnten in der eigenen Untersuchung nicht bestätigt werden. Weder das Schlachtgewicht noch das -alter hatten einen Effekt auf die Androstenon- und Skatolgehalte. Auch ADAM et al. (2009) kamen in ihrer Studie, mit einer ähnlichen Herkunft und einer ähnlichen Verteilung der Schlachtgewichte zu dem selben Ergebnis. In der Studie von FÀBREGA et al. (2011) hingegen beeinflusste das Schlachtgewicht signifikant den Androstenongehalt der Eber. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der eigenen Untersuchung lagen die Schlachtgewichte mit 105 bis 130 kg auf einem deutlich höheren Niveau.

Die fehlende Beziehung zwischen Schlachtgewicht oder -alter zur Androstenonkonzentration ist möglicherweise dadurch zu erklären, dass die schnellwachsenden untersuchten Piétrain \times F1 Eber bei den vorgegebenen Gewichtsgrenzen noch nicht in die Pubertät eingetreten waren. Andererseits konnte BONNEAU (1987; 2006) zeigen, dass die Geschlechtsreife nicht unbedingt gleichbedeutend mit hohen Androstenonwerten sein muss. Er postulierte, dass die Androstenonkonzentrationen vom individuellen Potential zur Steroidproduktion und -abbau, welches durch genetische Effekte kontrolliert wird, abhängig ist.

Aus diesen Gründen führt die Veränderung des Schlachtgewichtes oder Schlachalters, wie die vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen, nicht zwangsläufig zu einer Veränderung des Geruchsrisikos.

5.3.2 Saison

Im Zusammenhang mit dem Saisoneffekt wurde in der Literatur auf einen photoperiodischen Einfluss hingewiesen, welcher sich auf die Entwicklung der Pubertät, Spermatogenese und folglich auch auf die sexuellen Steroide, wie Testosteron oder Androstenon auswirkt (u.a. ANDERSSON et al. 1998). CLAUS et al. (1994) untersuchten den Zusammenhang zwischen Tageslichtlänge und Androstenonkonzentration. Sie zeigten, dass der Androstenongehalt mit abnehmender Tageslänge bzw. einem Winter simulierenden künstlichen Lichtprogramm zunahm.

In der vorliegenden Studie war der Saisoneffekt beim Merkmal Androstenon signifikant, wobei keine Interaktion zwischen LPA und Saison auftrat. Innerhalb der LPAs wurden keine signifikante Unterschiede festgestellt, jedoch war ein saisonaler Trend ersichtlich. Dabei zeigten in den meisten Fällen die Tiere, die in der Winterperiode mit abnehmender Tageslichtlänge gemästet wurden, tendenziell höhere Androstenonwerte im Vergleich zu den Tieren der Sommergruppe. Aus organisatorischen Gründen war eine exakte zeitliche Durchführung der Untersuchungen innerhalb der jeweiligen LPAs nicht möglich. Aus diesem Grund ist die Aussagekraft der eigenen Untersuchung insoweit etwas eingeschränkt.

In der Literatur finden sich unterschiedliche Aussagen über die Beeinflussbarkeit des Ebergeruchs durch den Saisoneffekt. FREDRIKSEN et al. (2006b) untersuchten die Auswirkungen unterschiedlicher Lichtprogramme auf das Verhalten der Eber und auf die Höhe der Ebergeruchskomponenten. Dabei verwendeten sie ein künstliches Lichtprogramm, welches zunehmende bzw. abnehmende Tageslichtlängen simulierte. Entgegen der oben beschriebenen Hypothese, wurden dabei bei den Ebern, die unter zunehmender Lichtdauer gehalten wurden, höhere Androstenonwerte gemessen als bei den Ebern mit abnehmenden Tageslichtlängen. Darüber hinaus führte eine Verkürzung der Tageslänge zu einem erhöhten aggressivem Verhalten und Aktivität, durch die das Wohlbefinden der Tiere beeinträchtigt wurde. Dadurch kamen FREDRIKSEN et al. (2006b) und die Autoren des Projektes PIGCAS (2008) zu der Schlussfolgerung, dass es nicht empfehlenswert sei, Ebergeruch durch ein künstliches Lichtprogramm zu reduzieren.

Auch ZAMARATSKAIA et al. (2004) und WEILER et al. (1995) konnten in ihren Studien keine eindeutige, signifikante Beziehung der Photoperiode zu dem Androstenon- und Skatolgehalt nachweisen. Allerdings wurde in der Studie von WEILER et al. (1995)

zwischen den Durchgängen mit unterschiedlichen Beleuchtungsdauern ein statistisch absicherbarer höherer Anteil an geruchsbelasteten Ebern (Androstenon > 0,5 µg/g Fett) in dem Durchgang mit zunehmender Tageslichtdauer festgestellt. Dieser Zusammenhang konnte jedoch nur bei Pi×DL, aber nicht bei DE×DL Ebern nachgewiesen werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Ergebnisse ist es fraglich, inwieweit ein photoperiodischer Effekt einen Einfluss auf den Ebergeruch bei modernen Schweineherkünften und Produktionsverfahren besitzt. Es ist demzufolge sehr zweifelhaft, ob ein künstlich induziertes Lichtprogramm zu einer Reduktion der Ebergeruchsproblematik beitragen kann. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass ein solches Verfahren das Wohlbefinden der Tiere negativ beeinflusst.

Beim Merkmal Skatol konnte in der vorliegenden Arbeit ein signifikanter photoperiodischer Effekt nachgewiesen werden, sowie eine signifikante Interaktion zwischen LPA und Saison. Diese Interaktion erklärt sich vornehmlich durch die Unterschiede zwischen den Durchgängen innerhalb der LPA I. Im ersten Durchgang konnten innerhalb der LPA bei einigen Tieren Darmerkrankungen beobachtet werden, die jedoch nicht weiter untersucht wurden. Diese Beobachtung könnte eine mögliche Erklärung für die unterschiedlich hohen Skatolgehalte sein. Die Ergebnisse der Studie von SKRLEP et al. (2012) legen nahe, dass es in Fällen von Darminfektionen zu ungewöhnlich hohen Skatolwerten kommen kann. Die Stalltemperatur könnte eine weitere Erklärung für die unterschiedlichen Skatolwerte zwischen Winter und Sommer darstellen, da sie einen signifikanten Effekt auf den Skatolgehalt im Fett ausüben kann (HANSEN et al. 1994). Die stationäre Prüfung in unserer Untersuchung wurde in weitestgehend klimatisierten Ställen durchgeführt, so dass ein Einfluss der Temperatur nicht zu erwarten war.

Neben dem Effekt der Photoperiode, kann der Skatolgehalt auch durch die Fütterung beeinflusst werden, was bereits in zahlreichen Studien dokumentiert und nachgewiesen wurde (siehe Abschnitt 2.3.3.1). Im Rahmen unseres Versuches wurde während der gesamten Mast ein energetisch und im Hinblick auf Proteingehalt und Zusammensetzung hochwertiges Futter eingesetzt, das jedoch nicht speziell auf einen möglichst geringen Skatolgehalt abzielte. Bereits durch das Herabsetzen der Energiedichte von 13,8 MJ ME/kg Futter (vorliegender Versuch: 13,4 MJ ME/kg Futter) auf 12,6 MJ ME/kg Futter konnte in einem Fütterungsversuch in der LPA Achterwehr (ADAM 2009) der Skatolgehalt von 251 ng auf 131 ng/g Fett gesenkt werden. Somit können die durchschnittlich hohen Skatolkonzentrationen in dem vorliegenden Versuch unter anderem durch die nicht für

Skatol optimierte Fütterung erklärt werden. Dies sollte beim Vergleich mit Skatolwerten anderer Versuche berücksichtigt werden.

5.3.3 Haltung

Im Rahmen des Projektes wurden die Tiere sowohl in Einzel- als auch in Gruppenhaltung geprüft. Aus organisatorischen Gründen war es jedoch nur in der LPA IV (Haus Düsse) während des 2. Durchgangs möglich, die Leistungen in beiden Haltungssystemen zeitgleich zu analysieren. Unterschiede zwischen der Gruppen- und Einzelhaltung in den übrigen Durchgängen ließen sich nicht interpretieren, da aufgrund der Datenstruktur genetische und haltungsbedingte Effekte nicht getrennt werden konnten.

Unter Berücksichtigung der veröffentlichten Versuchsergebnisse waren zwischen den beiden Haltungssystemen Unterschiede im Merkmal Androstenon zu erwarten, da Rankkämpfe und Dominanzverhalten mit Einfluss auf die sexuelle Entwicklung in der Einzelhaltung keine Rolle spielen (GIERSING et al. 2000). Darüber hinaus war zu vermuten, dass ein konstantes oder wechselndes Umfeld von Geburt bis zum Schlachten den Androstenongehalt beeinflusst (FREDRIKSEN et al. 2006a).

In der vorliegenden Studie wurden die höchsten Androstenongehalte 847 ng/g Fett bei den einzel gehaltenen Tieren gemessen. Der auf Log-Basis hoch signifikante ($p < 0,01$) Unterschied zu den Werten der Eber in Gruppenhaltung betrug auf Originalskala 222 ng/g Fett. Ähnlich große Unterschiede wurden auch in der Untersuchung von ADAM et al. (2009) gefunden, die ebenfalls in der LPA IV durchgeführt wurden. Die Eber erreichten in Einzelhaltung mit 1720 ng/g Fett im Mittel fast doppelt so hohe Androstenonkonzentrationen wie die in Gruppen gehaltenen Tiere.

BONNEAU & DESMOULIN (1980) führten einen Versuch durch, in dem bei unterschiedlichen Lebendgewichten von 85, 95 und 107 kg der Androstenongehalt der Tiere (Large White) in Einzel- und Gruppenhaltung (6 Tiere pro Gruppe) gemessen wurde. Im Gegensatz zu den vorliegenden Ergebnissen wurden signifikant ($p < 0,10$) höhere Werte bei den Gruppen gehaltenen Tieren mit einem Lebendgewicht von 107 kg, während bei den anderen Gewichtsgruppen keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden. Die Autoren wiesen auf die eingeschränkte Aussagekraft ihres Versuches hin, da die Variabilität der Androstenongehalte innerhalb der Haltungsart sehr hoch ausgeprägt war (CV: 70-80 %).

Keine Unterschiede bei beiden Ebergeruchsstoffen wurden zwischen den beiden Haltungformen in der Studie von PAULY et al. (2009) beobachtet. In diesem Versuch wurden 52 schweizer Large White Schweine in vier Gruppen unterteilt, wobei in einem ersten Experiment der Effekt der Kastrationsmethode (Kastrate, immunokastrierte Eber und unkastrierte männliche Schweine) quantifiziert wurde. Alle diese Tiere wurden in Gruppen von 13 Tieren gehalten, wohingegen in der vierten Gruppe nur unkastrierte Eber enthalten waren, die einzeln gehalten wurden. Dies diente zum Zweck der Untersuchung des Haltungseffektes auf unter anderem die Ebergeruchsstoffe. Im Durchschnitt wurden 700 ng Androstenon und 190 ng Skatol pro Gramm Fett bei den unkastrierten Gruppentieren gemessen. Die hiervon nicht signifikant ($p > 0,05$) unterschiedenen Werte der Eber in Einzelhaltung wurden nicht angegeben.

Die haltungsbedingten Differenzen in den Produktionsmerkmalen der vorliegenden Arbeit umfassen hauptsächlich den signifikant ($p < 0,01$) höheren Fleischanteil des Gesamtschlachtkörpers (1,3 % (bzw. im Bauch 1,7 %) und der 0,2 cm dickere Seitenspeck ($p < 0,05$) der Gruppentiere, die 84 g geringere ($p < 0,01$) Tageszunahmen aufzeigten. Ähnliche Unterschiede konnten von ADAM et al. (2009) im Rahmen des Düsser Versuches festgestellt werden (ohne Signifikanzangaben). Jedoch ergaben sich in der Studie von PAULY et al. (2009) andere Ergebnisse. Die Autoren konnten nur signifikante Unterschiede in der täglichen Futteraufnahme und der Futtermittelverwertung aufzeigen, jedoch keine Differenzen in der täglichen Zunahme oder im Muskelfleischanteil.

Im Gegensatz zu Androstenon lassen sich mögliche haltungsbedingte Unterschiede im Skatolgehalt vermutlich nicht nur durch eine soziale Komponente erklären (GIERSING et al. 2000) sondern vielmehr auch durch den Verschmutzungsgrad der Buchten. Der Grund hierfür liegt in der Möglichkeit der Absorption des mit dem Kot ausgeschiedenen Skatols über die Haut (ALUWÉ et al. 2011; HANSEN et al. 1995; HANSEN et al. 1994).

Wie schon beim Androstenon wurden die hoch signifikant höheren Skatolwerte (219 ng/g Fett) bei den Tieren in der Einzelhaltung gemessen. Beim Versuch auf Haus Düsse (ADAM et al. 2009), in welchem die gleiche Rasse sowie Schlachtgewichte verwendet wurden, wiesen die einzeln gehaltenen Tiere ebenfalls doppelt so hohe Skatolgehalte auf als die Tiere in Gruppenhaltung.

Sowohl in dem aktuellen als auch in dem Versuch von ADAM et al. (2009) wurde der Verschmutzungsgrad der Buchten oder Tiere nicht protokolliert, so dass ein direkter Zusammenhang zwischen Verschmutzung und Haltungssystem nicht abgeleitet werden kann. Im Experiment von HANSEN et al. (1994) wurde jedoch gezeigt, dass Tiere in Buchten mit hoher Besatzdichte, welche in ihrem Kot und Urin für eine Woche lagen, höhere Skatolgehalte im Fett aufwiesen als Schweine, die in Buchten mit geringerer Besatzdichte vergleichsweise sauberer gehalten wurden. In der vorliegenden Studie bestand der Boden in der Einzelhaltung aus Teilspalten, in der Gruppenhaltung aus Vollspalten. Dieser Unterschied könnte die Sauberkeit der Tiere beeinflusst haben, da zu erwarten war, dass Schweine auf Vollspaltenböden sich bei gleichem Platzangebot weniger verschmutzen als auf Teilspaltenböden (COURBOULAY et al. 2003). Auch WEBER (2012) fand in seinem Projekt heraus, dass die Liegeflächen stärker verschmutzt waren, je geringer der Perforationsanteil war.

ALUWÉ et al. (2011) dagegen fanden in ihren Experimenten zwar höhere Skatolwerte bei den sauber gehaltenen Tieren als bei den verschmutzten Tieren, jedoch waren diese nicht signifikant unterschiedlich. Bei der zusätzlichen sensorischen Beurteilung der Fleischproben durch ein Konsumenten- und Expertenpanel konnten nur die Konsumenten einen erhöhten Level an Ebergeruch bei den verschmutzten Ebern feststellen. Dadurch schlussfolgerten die Autoren, dass die Reduktion des Skatolgehaltes durch das Sauberhalten der Tiere nicht eindeutig zu beweisen war. Somit könnte dies laut WEILER & WESOLY (2012) darauf hindeuten, dass die Beeinflussung der Skatolwerte eher durch die höhere Stressbelastung in Gruppenhaltung zustande kommt und über den Kausalzusammenhang der cortisolbedingten Apoptosesteigerung oder durch veränderte Resorptionsbedingungen unter Cortisoleinfluss erklärt werden könnte.

Somit sind die genannten potentiellen kausalen Ursachen Stress und Verschmutzungsgrad für die festgestellten haltungsbedingten Skatolunterschiede nicht eindeutig zu trennen.

5.4 Genetisch bedingte Einflussfaktoren auf die Komponenten des Ebergeruchs

Die Komponenten des Ebergeruchs werden – wie in zahlreichen Veröffentlichungen dokumentiert – durch genetische Faktoren beeinflusst. Dies lässt sich durch Selektionsexperimente (u.a. SELLIER et al. 2000; WILLEKE et al. 1987) sowie Unterschiede

zwischen und innerhalb verschiedenen Rassen und Herkünften nachweisen (u.a. BABOL et al. 2004; TAJET et al. 2006; XUE et al. 1996).

5.4.1 Unterschiede zwischen den Rassen und Herkünften

Im Rahmen des vorliegenden Versuches wurden innerhalb eines Durchganges in der LPA III (Boxberg) zeitgleich Eber der Kreuzungen Duroc × Kreuzungssau und Piétrain × Kreuzungssau aufgestellt.

Im Vergleich zu den Duroc × Kreuzungssau Tieren zeigte sich eine signifikante Überlegenheit der Kreuzungstiere der Rasse Piétrain × Kreuzungssau in den Merkmalen der Schlachtkörperqualität (Fa, Bonn +3 %) und Unterlegenheit in den Merkmalen der Mastleistung (Tgz: -179 g / Tag, Fvw: +0,14). In den Studien von AFFENTRANGER et al. (1996), EDWARDS et al. (2003), GISPERT et al. (2007) und WERNER et al. (2010) konnte ebenfalls eine bessere Schlachtkörperzusammensetzung der Piétrain × Kreuzungssau Tiere beobachtet werden. Beim Merkmal Futtermittelverwertung und Zunahme waren die Ergebnisse weniger konsistent. Beispielsweise bestätigten EDWARDS et al. (2006) und AFFENTRANGER et al. (1996) die vorliegende Rangfolge bezüglich der Tageszunahmen, wohingegen in den Studien von ELLIS et al. (1996) und KANIS et al. (1990) die Piétrain Nachkommen höhere tägliche Zunahmen aufwiesen als die Duroc Nachkommen. Ähnlich verhielt es sich auch bei der Futtermittelverwertung. Die Studie von AFFENTRANGER et al. (1996) bestätigte die Rangierung der aktuellen Untersuchung bezüglich der schlechteren Futtermittelverwertung der Piétrain Kreuzungstiere. Dagegen fanden EDWARDS et al. (2006) keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Rassen. KANIS et al. (1990) stellten nur im Gewichtsbereich von 60 bis 100 kg eine schlechtere Futtermittelverwertung bei Duroc Tieren fest, während in den Gewichtsbereichen von 100 bis 140 kg bzw. von 60 bis 140 kg diese Unterlegenheit nicht nachgewiesen werden konnte. Die deutliche Überlegenheit der Duroc-Kreuzungstiere im intramuskulärem Fettgehalt (Du: 1,64 %; Pi: 0,90 %) war erwartungsgemäß. Wie bereits die Übersicht in der Studie von MÖRLEIN (2007) zeigte, sind in der deutschen sowie auch in anderen ausländischen Schweinepopulationen die höchsten intramuskulären Fettgehalte der Rasse Duroc bzw. den Kreuzungstieren mit Duroc-Anteil zuzuordnen.

Die genetische Beeinflussbarkeit von Androstenon konnte bei der Betrachtung der Rassendifferenzen des vorliegenden Versuches bestätigt werden. Der Androstenongehalt war bei Duroc × Kreuzungssau Tieren signifikant höher als bei Piétrain-Kreuzungstieren

(1003 vs. 337 ng/g Fett), wohingegen beim Skatol- und Indolgehalt keine signifikanten Unterschiede feststellbar waren. Diese Beobachtung bezüglich Androstenon wurde auch in anderen aktuellen Untersuchungen (u.a. MERKS et al. 2009; WINDIG et al. 2012) gefunden. Dabei konnten die Rassen anhand ihrer Androstenonkonzentrationen in abnehmende Reihenfolge von Duroc über die Yorkshire, Landrasse bis hin zu Piétrain eingeordnet werden. Diese Reihenfolge entsprach dem zunehmenden Magerfleischanteil der Herkünfte, wie auch die Ergebnisse des vorliegenden Versuches andeuteten. Die Vermutung, dass der Androstenongehalt mit zunehmenden genetischen Verfettungspotential der Eber ansteigt deutete sich auch bei Betrachtung der Beziehung zwischen Schlachtkörperzusammensetzung und Androstenonlevel innerhalb der Herkunft Piétrain × Kreuzungssau an, die in Abschnitt 5.4.2.4 weiter beschrieben wird. Dabei zeigten sich negative genetische und phänotypische Korrelationen zwischen Androstenongehalt und Fleischanteil im Schlachtkörper von -0,22 bzw. -0,15.

Die oben beschriebene Rassenrangfolge für Androstenon deckte sich nur teilweise mit älteren Versuchsergebnissen, die in der Übersichtsarbeit von BRACHER-JAKOB (2000) zusammengestellt wurden. In der Mehrzahl der aufgelisteten Versuche wiesen sowohl die Duroc- als auch Piétraineber deutlich ungünstigere Androstenonwerte gegenüber Landrasse- und Edelschweinebern auf. Möglicherweise lässt sich das niedrige Geruchspotential der Piétraineber in der vorliegenden Arbeit, wie auch beispielsweise in der aktuellen Studie von WINDIG et al. (2012), durch die intensive züchterische Weiterentwicklung dieser Rasse erklären, die zu einem erhöhten genetischen Niveau in den Merkmalen der Fleischleistung und damit indirekt zu einem abnehmenden Ebergeruchspotential geführt haben könnte.

Darüber hinaus wiesen BRACHER-JAKOB (2000) und HAUGEN et al. (2012) darauf hin, dass aufgrund der unterschiedlichen Mastbedingungen, wie Alter, Gewichtsbereich, Fütterung und insbesondere aufgrund der unterschiedlichen Messmethoden für Androstenon und Skatol, die Untersuchungsergebnisse verschiedener Versuche nur bedingt miteinander verglichen werden können.

Vor dem Hintergrund möglicher Herkunftsunterschiede lassen sich auch die Differenzen zwischen den Mittelwerten der jeweiligen Leistungsprüfanstalten diskutieren. Wie bereits im Material und Methoden Teil beschrieben (Abschnitt 3.1), waren je nach LPA die eingesetzten Pi-Besamungseber und die Herkunft der angepaarten Sauen unterschiedlich.

Es zeigte sich, dass die Tiere aus Station IV und V mit signifikant höheren Androstenongehalten belastet waren als die aus den Stationen I, II und III. Die beiden Stationen IV und V befanden sich beide in NRW, und deren Versuchsferkel stammten alle vom gleichen Ferkelerzeuger mit F1 Sauen einer Niederländischen Zuchtorganisation, welcher das Sperma von der gleichen Besamungsstation geliefert bekam. Aufgrund dieser Tatsache waren sich die Versuchstiere der beiden Stationen vermutlich genetisch ähnlicher als diese im Vergleich zu den Tieren der anderen drei Stationen. Die ersten drei Stationen befanden sich alle in Süddeutschland (Bayern und Baden-Württemberg). Somit schien es regionale Unterschiede hinsichtlich der Geruchsbelastung der Tiere seitens Androstenon zu geben. Dies zeigte sich auch anhand der Nachkommenmittelwerte der KB-Eber der jeweiligen LPAs. Eine Erklärung hierfür könnten die genetisch unterschiedlichen Linien sein, die je nach Leistungsprüfstation zum Einsatz kamen. Zudem konnte die Vermutung, dass die Stationsunterschiede durch die unterschiedlichen Haltungsformen vollständig erklärt werden könnten, im vorherigen Kapitel 5.3.3 der Diskussion nicht belegt werden.

Auch beim Vergleich der beiden niederländischen Studien von MERKS et al. (2009) und WINDIG et al. (2012) zeigten sich linienspezifische Unterschiede innerhalb einer Rasse. Die Androstenongehalte für die Rasse Piétrain lagen bei der Studie von WINDIG et al. (2012) bei 0,49 µg/g Fett und in der Untersuchung von MERKS et al. (2009) bei 1,59 µg/g Fett, obwohl ähnliche Produktionsbedingungen und die selbe Methode zur Quantifizierung der Androstenongehalte verwendet wurden.

Für Skatol ließen sich weniger eindeutige Schlussfolgerungen aus den eigenen und den Ergebnissen der Literatur ableiten. Die hohe Beeinflussbarkeit der Skatolkonzentration durch Umweltfaktoren (Haltung, Fütterung) erschwerte die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse. Obwohl Rassenunterschiede erkennbar waren, war keine konsistente Rangierung der Herkünfte hinsichtlich des genetischen Skatolpotentials erkennbar.

Die in Abschnitten 4.2.5 und 4.2.3 beschriebenen Skatolunterschiede zwischen den Prüfstationen und Durchgängen könnten zum Teil durch den signifikanten Einfluss der Haltungform erklärt werden. Aufgrund der standardisierten Fütterung in allen LPAs konnte in der eigenen Studie dieser Einflussfaktor nicht zur Erklärung der Stationsunterschiede herangezogen werden. Der regionale Unterschied, der im Falle des Androstenongehaltes beobachtet wurde, war sowohl bei den einzelnen Skatolwerten als auch bei den Nachkommenmittelwerten der KB-Eber nicht zu erkennen. Auch innerhalb

der ersten drei Stationen gab es signifikante Unterschiede hinsichtlich der Skatolwerte. Dabei könnte der hohe LSQ-Mittelwert in Station I durch die bereits erwähnten dortigen Probleme mit Darmerkrankungen teilweise erklärt werden.

Es lässt sich somit zusammenfassen, dass die Rasse Duroc im Vergleich zu den anderen Rassen ein erhöhtes Androstenonpotential aufweist. Im Gegensatz dazu scheinen fleischreiche moderne Herkünfte ein vermindertes Risiko für Geruchsabweichungen mit Blick auf Androstenon zu besitzen, obwohl erhebliche Unterschiede auch innerhalb der Linien auftreten können.

Die Literaturergebnisse deuten darauf hin, dass die Unterschiede beim Skatol vermutlich eher umweltbedingt und weniger aufgrund von Linien- und Herkunftsunterschieden zu erklären sind. Hieraus folgt, dass sich die Skatolkonzentrationen vermutlich durch eine optimierte Fütterung und Haltung deutlich reduzieren ließe.

5.4.2 Genetische Fundierung innerhalb der Rassen

Die genetische Variation des Ebergeruchs innerhalb der Herkunft Piétrain \times Kreuzungssau zeigte sich in den geschätzten Erblichkeitsgraden der Leitkomponenten. Die Heritabilitäten lagen mit 0,60 für Androstenon, 0,43 für Skatol und 0,32 für Indol in der vorliegenden Arbeit auf einem mittleren bis hohen Niveau. In der Literatur finden sich diese Werte in zahlreichen Studien mit unterschiedlichen Rassen und Herkünften wieder. In der überwiegenden Anzahl der in Tabelle 3 in Abschnitt 2.4.2 aufgeführten Studien wurden für Androstenon Heritabilitäten in der Größenordnung 0,5 bis 0,7, für Skatol zwischen 0,3 und 0,5 und für Indol \sim 0,3 geschätzt. Die etwas niedrigere Heritabilität für Skatol verdeutlichte die zuvor diskutierte höhere Beeinflussbarkeit von Skatol durch haltungs- und gesundheitsbedingte Umweltfaktoren. Generell zeigten diese mittleren bis hohen Heritabilitäten der Ebergeruchsstoffe, dass Zuchtfortschritte insbesondere bei Verwendung von Ergebnissen einer Eigenleistung von Besamungsebern in relativ kurzer Zeit erreichbar wären. Auf diesen Diskussionspunkt wird im Rahmen der Indexselektion in Abschnitt 5.4.2.5 näher eingegangen.

5.4.2.1 Beziehungen zwischen Ebergeruch und anderen Merkmalen

Neben der genetischen Fundierung der Ebergeruchsstoffe sind die phänotypischen und genetischen Beziehungen zu den Produktions- und Reproduktionsmerkmalen aus dem Blickwinkel möglicher Selektionserfolge von Bedeutung.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die in vielen Literaturquellen (u.a. MERKS et al. 2009; TAJET et al. 2006; WINDIG et al. 2012) postulierte positive Beziehung zwischen Androstenon und Skatol bestätigt ($r_{g,p} = 0,3$). Aus physiologischer Sicht lässt sich dieser Befund auch durch die hemmende Wirkung von Androstenon auf den Skatolabbau erklären (BABOL et al. 1999; DORAN et al. 2004; DORAN et al. 2002).

Zwischen Indol- und Skatol wurden mit $r_g = 0,62$ und $r_p = 0,72$ sehr hohe Korrelationen geschätzt, die mit den Ergebnissen der Literatur (ENGELSMAN et al. 2007; TAJET et al. 2006; WINDIG et al. 2012) übereinstimmen. Dies war aufgrund der engen Verzahnung der Biosynthese beider Komponenten über die bakterielle Metabolisierung des L-Tryptophans zu erwarten.

5.4.2.2 Beziehungen der Ebergeruchskomponenten zu den Merkmalen der paternalen Fruchtbarkeit

Die Biosynthese von Androstenon und einer Reihe von Steroidhormonen, wie Testosteron und Östrogene, erfolgt ausgehend von Pregnenolon und Progesteron in eng verknüpften Stoffwechselwegen (CLAUS et al. 1994; WEILER und WESOLY 2012). Aus diesem Grund sind antagonistische Beziehungen zwischen Androstenon und Merkmalen der paternalen und maternalen Fruchtbarkeit aus physiologischer Sicht zu erwarten. Durch die positiven Beziehungen zwischen Androstenon und Skatol (Abschnitt 5.4.2.1) sind ebenfalls indirekte Effekte des Skatols auf die Merkmale der Fruchtbarkeit physiologisch erklärbar. Bisher wurden diese negativen Erwartungen in größeren Populationen nur selten untersucht. Nur in der Arbeit von BAES et al. (2011a) konnte in schweizer Zuchtpopulationen ein minimal nachteiliger Effekt für die Samenqualität und –quantität durch Androstenon festgestellt werden (Korrelationswerte nicht angegeben). Die im Rahmen der eigenen Arbeit geschätzten genetischen und phänotypischen Korrelationen zwischen Merkmalen der paternalen Fruchtbarkeit und Androstenon bestätigten die o.g. Hypothesen jedoch nicht. Unter Berücksichtigung der teilweise hohen Standardfehler unterschieden sich die geschätzten Korrelationen von Androstenon und Skatol und paternaler Fruchtbarkeit nur

unwesentlich vom Wert 0 oder waren, wie die Korrelation zwischen Androstenon und Spermadichte ($r_g = -0,23$; $r_p = -0,12$), stärker ausgeprägt, entsprachen jedoch im Vorzeichen nicht der erwarteten antagonistischen physiologischen Beziehung. Auch in der Untersuchung von MERKS et al. (2010) und BERGSMA et al. (2007) wurden nur unwesentlich von 0 abweichende Beziehungen zwischen den Parametern der Samenquantität und –qualität von Besamungsebern sowie Androstenon und Skatol beobachtet. Somit würden sich die Merkmale der paternalen Fruchtbarkeit bei einer Selektion auf beide Hauptkomponenten des Ebergeruchs nur unwesentlich verändern. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die Spermaproben der Eber im Rahmen der Spermakontrolle in den eigenen Untersuchungen und vermutlich auch in den Studien von MERKS et al. (2010), BERGSMA et al. (2007) und BAES et al. (2011a) von den zugehörigen Besamungsstationen vorselektiert waren. Das Fehlen absoluter Negativvarianten in der Spermaqualität schränkt die Aussagekraft der Ergebnisse im Hinblick möglicher antagonistischer Beziehungen zwischen Ebergeruch und paternaler Fruchtbarkeit ein.

Die Hoden sind Syntheseort von Androstenon (u.a. CLAUS et al. 1994; PATTERSON 1968) und könnten als Indikator der sexuellen Reife dienen (HARDER et al. 1995; SELLIER und BONNEAU 1988). SELLIER & BONNEAU (1988) stellten in ihrer Untersuchung fest, dass bei einer Selektion auf niedrige Androstenongehalte im Fett und gleichzeitiger Aufrechterhaltung der normalen geschlechtlichen Entwicklung der Eber, wobei die Hodengröße als Indikator für den Grad der Geschlechtsreife diente, es zu einer deutlichen Verzögerung des Pubertätsbeginns bei den Sauen kommt. Die testikuläre Entwicklung der Eber blieb jedoch nahezu normal erhalten. Zur Abschwächung dieses Problems empfahlen SELLIER et al. (2000) die Messung der Bulbourethraldrüsendicke, die zudem im Vergleich zum Hodengewicht eine höhere Beziehung zu Androstenon aufwies ($r_g = 0,66$ vs. $0,41$). Die Messung der Bulbourethraldrüsendicke ist jedoch vergleichsweise arbeitsaufwändig und wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt.

Im Rahmen der eigenen Untersuchung besaß das Hodengewicht, unter Berücksichtigung der Standardfehler, mit Korrelationen von $r_g = 0,45$ und $r_p = 0,34$ die höchste Aussagekraft zur Abschätzung des Androstenongehaltes. Ähnlich verhielt es sich auch mit den Korrelationen der Hodenmaße zu dem Skatolgehalt, welche nur geringer ausfielen. Im Vergleich zur Hodenbreite und –länge war die Heritabilität des Hodengewichtes mit $h^2 = 0,38$ viermal so hoch. In der Literatur wurde der Einsatz von Hodenmaßen zur Einschätzung des Ebergeruchs jedoch kontrovers diskutiert. Am meisten kam das Gewicht

des Hodens zum Einsatz, aufgrund der leichteren und reproduzierbaren Messbarkeit im Vergleich zu den anderen Hodenparametern. In der Studie von PAULY et al. (2009) und ZAMARATSKAIA et al. (2005b) wurden keine oder nur geringe nicht signifikante Beziehungen zwischen dem Hodengewicht und Androstenon ($r_p = 0,22 - 0,24$) bzw. Skatol ($r_p = -0,06 - 0,12$) gefunden. Dennoch konnte bei ZAMARATSKAIA et al. (2005b) ein Schwellenwert (Hodengewicht < 565 g; Länge der Bulbourethraldrüse < 90 mm) festgestellt werden, ab dem die Tiere keine Skatolwerte mehr über $0,2 \mu\text{g/g}$ Fett aufzeigten. Im Gegensatz dazu konnten ANDERSSON et al. (1999) als auch RYDHMER et al. (1993) jedoch über eine positive Korrelation von $0,1$ ($p = 0,05$) bzw. $0,6$ zwischen Skatol und dem Gewicht der Hoden berichten.

Die eigenen Untersuchungsergebnisse zeigten, dass das Hodengewicht aufgrund seiner einfachen Messbarkeit und der hohen Korrelation zum Androstenongehalt ein aussagefähiger Indikator des Ebergeruchs sein kann. Allerdings ist dieses Informationsmerkmal aus einem züchterischen Blickwinkel aufgrund seiner physiologisch nachgewiesenen antagonistischen Beziehung zum Merkmal Geschlechtsreife umstritten.

5.4.2.3 Beziehungen der Ebergeruchskomponenten zu den Merkmalen der maternalen Fruchtbarkeit

Auch zwischen den Merkmalen der maternalen Fruchtbarkeit und der Ebergeruchsstoffe wurden in den eigenen Untersuchungen einerseits nur sehr niedrige phänotypische Korrelationen geschätzt. Andererseits waren die höher geschätzten genetischen Korrelationen nur bedingt interpretationsfähig und zeigten teilweise nicht die zu erwarteten Vorzeichen. Diese Korrelationen wurden auf der Basis der väterlichen Pi-Reinzuchtgroßmütter der geprüften Schlachteber geschätzt. Die Fruchtbarkeit der Mütter der Schlachteber blieb aufgrund nicht verfügbarer Informationen unberücksichtigt. Vor diesem Hintergrund sind die teilweise hohen Standardfehler der Korrelationen zu erklären. Zudem waren die Erblichkeitsgrade für die Merkmale Zwischenwurfzeit und Anzahl abgesetzter Ferkel mit Werten zwischen $h^2 = 0,03$ bis $0,07$ sehr niedrig, sodass eine tiefgehende Interpretation der genetischen Korrelation zu den Merkmalen des Ebergeruchs nicht sinnvoll erscheint. Dies gilt auch für das Merkmal der lebend geborenen Ferkel ($h^2 = 0,08$) mit einer tendenziell unerwünschten Beziehung zum Androstenongehalt von $+0,1$. Das Merkmal Erstferkelalter zeigte mit einer Heritabilität von $0,20$ und einer

genetischen Korrelation von -0,44 die aussagefähigste und unerwünschteste Beziehung zum Androstenon Gehalt. Dieses Ergebnis stand im Einklang mit dem im vorherigen Abschnitt beschriebenen Selektionsexperiment von SELLIER & BONNEAU (1988). Hierbei wurde als unerwartete Auswirkung einer Selektion auf niedrigen Androstenon Gehalt, eine Verzögerung des Pubertätsbeginns bei den Sauen beobachtet. Ähnliche Ergebnisse ergaben sich auch bei dem Selektionsexperiment von WILLEKE et al. (1987), bei dem eine Verzögerung der 1. Rausche durch die Selektion auf niedrigen Androstenon Gehalt festgestellt werden konnte.

In den Studien von ENGELSMA et al. (2007) und MERKS et al. (2010) wurden ebenfalls die Beziehungen zu bedeutsamen maternalen Merkmalen bei verschiedenen niederländischen Zuchtpopulationen untersucht. Auch in diesen Untersuchungen konnte aufgrund der kaum von 0 abweichenden oder mit hohen Standardfehlern behafteten Schätzwerte und der z.T. widersprüchlichen Vorzeichen keine eindeutige Aussage über das Ausmaß des Einflusses des Ebergeruchs auf die Merkmale der maternalen Fruchtbarkeit getroffen werden. Um das Ergebnis weiter zu differenzieren, teilten MERKS et al. (2010) die Zuchtpopulation je nach genetischem Ebergeruchspotential in drei Gruppen ein. Die beiden Extremgruppen beinhalteten Eber mit den 10 % besten bzw. schlechtesten Indexzuchtwerten bestehend aus den unterschiedlich gewichteten Merkmalen Androstenon und Skatol. Beim Vergleich der Gruppen mit dem höchsten und niedrigsten Geruchspotential wurde eine leicht erhöhte Verlustrate der Ferkel (+2,7 %) innerhalb eines Wurfs und ein höheres Erstbesamungsalter (+8,1 Tage) seitens der Gruppe mit hohem Ebergeruchspotential festgestellt. Letzteres steht im Einklang mit den Ergebnissen der eigenen Untersuchung. Aufgrund der hohen ökonomischen Bedeutung der maternalen Fruchtbarkeit, wiesen sowohl MERKS et al. (2010) als auch ENGELSMA et al. (2007) darauf hin, dass trotz zweifelhafter Antagonismen zwischen Ebergeruch und Fruchtbarkeit, eine Selektion gegen Ebergeruch innerhalb der Mutterlinien mit einem hohen Risiko behaftet ist.

5.4.2.4 Beziehungen der Ebergeruchskomponenten zu den Produktionsmerkmalen

Die Auswirkungen einer Verringerung von Androstenon bzw. Skatol auf die Merkmale der Schlachtkörperzusammensetzung und Mastleistung waren im vorliegenden Versuch wünschenswert oder unterschieden sich kaum vom Wert 0. Eine nennenswerte Ausnahme bestand nur in der tendenziell antagonistischen Beziehung zwischen Skatol und Imf

($r_g = 0,11$). Zur gleichen Aussage gelangten die Studien von ENGELSMA et al. (2007), WINDIG et al. (2012) und MERKS et al. (2009). Letztere erwarteten bei der Selektion gegen die drei Hauptkomponenten des Ebergeruchs tendenziell erwünschte Zuchtfortschritte bei der Futtermittelverwertung und der Schlachtkörperzusammensetzung. Auch MERKS et al. (2010) schlussfolgerten eine verbesserte Futtermittelverwertung und geringere Futteraufnahme durch eine quantitative Selektion anhand eines angemessen gewichteten Ebergeruchsindex, bestehend aus Androstenon und Skatol. Die Autoren wiesen jedoch darauf hin, dass bei einer starken Betonung des Androstenongehaltes im Selektionsindex die Zuchterfolge beim Merkmal tägliche Zunahme unerwünscht sein könnten. Dieses Merkmal wies zwar eine negative genetische Beziehung zu Skatol ($r_g = -0,33$), jedoch eine positive und somit unerwünschte Korrelation zu Androstenon ($r_g = 0,19$) auf.

Übereinstimmend mit den Literaturwerten kann anhand der eigenen Ergebnisse geschlossen werden, dass bei einer Selektion gegen Ebergeruch für die Produktionsmerkmale eher mit wünschenswerten Effekten zu rechnen ist.

5.4.2.5 Zuchtplanung mit Hilfe Indextheorie

Eine wichtige Fragestellung der Arbeit war die Beurteilung der Erfolgsaussichten einer züchterischen Reduktion des Anteils der Eber mit Geruchsabweichungen. Diese Beurteilung erfolgte mit Hilfe einer Simulation auf der Basis der Selektionsindextheorie. Dabei wurden die im Rahmen der Arbeit geschätzten Parameter verwendet und das Szenarium einer für Deutschland typischen Schweinezuchtorganisation simuliert.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass in relativ kurzer Zeit hohe Zuchtfortschritte für das Merkmal Ebergeruch erreicht werden können. Ursache hierfür waren die in der vorliegenden Studie berechneten mittleren bis hohen Erblichkeitsgrade der Leitkomponenten des Ebergeruchs. Diese hohen Zuchterfolge konnten auch unter der Voraussetzung realisiert werden, dass 70 % des Zuchterfolges in den übrigen Zuchtzielmerkmalen erhalten bleiben sollte. So ließe sich der Anteil Tiere mit einem Androstenongehalt von mehr als 1000 ng/g Fett innerhalb von 4 (Vaterlinien) oder 6 (Mutterlinien) Generationen von 50 auf unter 5 % reduzieren.

Von großer Bedeutung hierbei war jedoch die unterstellte antagonistische Beziehung zwischen Ebergeruch und maternaler Fruchtbarkeit. Die oben genannten Zuchterfolge wurden unter der Annahme berechnet, dass diese antagonistische Beziehung bei $|0,2|$ lag.

Diese Einschätzung basierte auf den eigenen Untersuchungsergebnissen, die sich überwiegend mit den publizierten Ergebnissen (ENGELSMA et al. 2007; MERKS et al. 2010) deckten (siehe Abschnitt 5.4.2.3). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Schätzung der Korrelationen aufgrund der Datenstruktur (fehlende Informationen über die Fruchtbarkeit der Mütter der Schlachteber) kritisch zu beurteilen ist. Darüber hinaus war die Anzahl der Untersuchungen, die sich mit der Schätzung der genetischen Korrelationen zwischen Ebergeruch und Fruchtbarkeit in real existierenden Zuchtpopulationen beschäftigen, bisher gering.

Nachteilige Auswirkungen einer Selektion auf die männliche Fruchtbarkeit (Spermacharakteristika) waren dagegen nicht zu erwarten. Dies ließ sich relativ eindeutig aus den eigenen Untersuchung und den Ergebnissen von u.a. MERKS et al. (2010) oder BERGSMA et al. (2007) ableiten (siehe Abschnitt 5.4.2.2). Aus diesem Grund wurde die paternale Fruchtbarkeit nicht in das Simulationsmodell integriert.

Unter den Bedingungen des definierten Selektionsindex bzw. Gesamtzuchtwertes waren trotz der unterstellten gegenläufigen Korrelationen zwischen dem Ebergeruch und der maternalen Fruchtbarkeit leicht positive Zuchterfolge im Merkmal abgesetzte Ferkel zu erwarten, welche bei etwa +0,01 (Vaterlinie) bzw. +0,11 (Mutterlinie) abgesetzte Ferkel pro Generation lagen. Dies galt sowohl bei der Vaterlinie, bei der die Produktionsleistung im Gesamtzuchtwert relativ stark gewichtet wurde, als auch bei der Mutterlinie, mit stärkerer ökonomischer Betonung der Fruchtbarkeit. Beim Merkmal Erstferkelalter wurden mögliche negative Zuchterfolge im Rahmen der Planungsberechnungen durch die methodische Beschränkung (Proportionalitätsindex) des Zuchterfolges auf den Wert 0 verhindert.

Veränderte man die Korrelation zwischen Ebergeruch und den berücksichtigten Fruchtbarkeitsmerkmalen auf $|0,3|$, so verlängerte sich der benötigte Zeitraum zum Erreichen der 5 % Schwelle in den Mutterlinien von 6 auf 9 Generationen. Eine solche Verschärfung der gegenläufigen Beziehungen zwischen dem Ebergeruch und der maternalen Fruchtbarkeit reflektierten die physiologische Sichtweise der engen Verzahnung von Androstenon- und Steroidhormonsynthese (CLAUS et al. 1994) sowie die Ergebnisse älterer Selektionsexperimente von WILLEKE et al. (1987) und SELLIER & BONNEAU (1988). Diese Versuche dokumentierten zwar eine erfolgreiche Selektion gegen Androstenon, allerdings wurden diese Erfolge von einer erheblich verzögerten sexuellen Entwicklung der Jungsau begleitet.

Eine zweite wichtige Stellschraube bei der Simulation war der Anteil des zu erwartenden Zuchtfortschrittes in den Produktions- und Reproduktionsmerkmalen, der trotz Integration des Merkmals Ebergeruch erhalten bleiben sollte. Dieser Parameter war aus dem Blickwinkel der Konkurrenzsituation eines Schweinezuchtunternehmens von großem Interesse. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass die Selektionserfolge im Merkmal Ebergeruch deutlich verringert werden konnten (von -0,46 auf 0,37 ln (ng/g Fett)), wenn anstelle der o.g. 70 %, 80 % der Zuchterfolge in den Zuchtzielmerkmalen ohne Ebergeruch konserviert werden sollten. Ebenfalls wurde auch hier eine deutlich höhere Anzahl von Generationen notwendig, um die genannte 5 % Schwelle an geruchsbelasteten Ebern zu unterschreiten. Die Steigerung der benötigten Generationen belief sich bei der Vater- und Mutterlinie auf 1 bis 2 bzw. auf 2 bis 4 Generationen.

Im Vergleich zu den eigenen Untersuchungsergebnissen wurden in der Studie von MERKS et al. (2009) nahezu analoge Zuchterfolge im Merkmal Ebergeruch berechnet. Die Autoren zeigten in einer Selektionssimulation, dass bei Selektion gegen Ebergeruch, ein Zuchtfortschritt für Androstenon von -0,36 ln ($\mu\text{g/g}$ Fett) bzw. für Skatol von -0,08 ln ($\mu\text{g/g}$ Fett) pro Generation erzielt werden konnte. Dies führte dazu, dass von anfänglich 32 % der Tiere, die über den Schwellenwerten für Androstenon (2,56 $\mu\text{g/g}$ Fett) und Skatol (0,20 $\mu\text{g/g}$ Fett) lagen, nach 4 Generationen Selektion nur noch 3 % übrig blieben. Einschränkend ist bei dieser Zuchtplanungsberechnung jedoch anzumerken, dass keine Antagonismen zwischen Fruchtbarkeit und Ebergeruch unterstellt wurden.

Sowohl aus dem Blickwinkel der Kosten als auch der Zuchterfolge des Zuchtprogramms war die Frage der phänotypischen Messmethodik des Merkmals Ebergeruch von Bedeutung. Grundsätzlich ist eine laboranalytische ("Labor") und subjektive humansensorische ("HNS") Erfassung möglich. Eine laboranalytische Erfassung von Androstenon und Skatol ist aufwändig und mit relativ hohen Kosten verbunden. Eine subjektive humansensorische Erfassung ist zwar leichter zu realisieren, jedoch ist diese Methode mit einem höheren Messfehler belastet, der sich in deutlich niedrigeren Erblichkeitsgraden dieses Merkmals niederschlägt. Diese Einschätzung wurde in der Studie von WINDIG et al. (2012) bestätigt. In dieser Studie wurden zum Teil niedrige phänotypische Korrelationen zwischen den humansensorischen Beurteilungsnoten der einzelnen am Projekt beteiligten Prüfpersonen ($r_p = 0,27 - 0,36$) geschätzt. Die Autoren unterstrichen daher die Notwendigkeit der Entwicklung von Handlungsempfehlungen, um

einen effizienten Einsatz von humansensorischen Geruchsfeststellungen im Rahmen von Leistungsprüfungen zu gewährleisten.

WINDIG et al. (2012) wies jedoch daraufhin, dass das Merkmal "HNS" im Zuchtziel trotz der oben genannten messmethodischen Schwierigkeiten klar definiert werden konnte. Wurde das Merkmal "HNS" je Prüfperson als eigenständiges Merkmal betrachtet, so zeigten sich hohe genetische Korrelationen zwischen den "HNS" Benotungen der Prüfpersonen in einem Bereich von $r_g = 0,65$ bis $0,90$. Unter Berücksichtigung solch hoher Korrelationen würde sich die genetische Rangierung der Selektionskandidaten auch dann kaum verändern, wenn unterschiedliche Prüfpersonen den Ebergeruch subjektiv beurteilen.

Im Gegensatz dazu ist eine laboranalytische Messung als Hilfsmerkmal des Ebergeruchs zu verstehen, die nur bei entsprechender Grenzwertziehung zur Charakterisierung des Ebergeruchsrisikos genutzt werden kann. Auf die Unsicherheit bei der Grenzwertziehung wurde bereits in Abschnitt 2.1.3 hingewiesen, so dass trotz hoher Messgenauigkeit die Eignung des Merkmals analytischer Androstenon- oder Skatolgehalt zur Definition des Zuchtzielmerkmals Ebergeruch umstritten ist. Hinzu kommt, dass es derzeit noch keine international anerkannte Referenzmethode zur analytischen Bestimmung der Konzentrationen der Ebergeruchsstoffe gibt. Es stehen einige Methoden zur Auswahl, die im Hinblick der Analyseergebnisse jedoch aufgrund deren signifikanten Verzerrungen um den Faktor 2- 6 nur schwer zu vergleichen sind (siehe Abschnitt 2.1.2).

Um die Selektionserfolge beider Erfassungsvarianten prognostizieren zu können, wurden die Simulationsprogramme entsprechend der Informationsquellen alternativ angepasst. Bei allen Varianten wurde das Merkmal Androstenon als Zuchtzielmerkmal definiert. Dabei wurde unterstellt, dass der für die Variante "Labor" benötigte Rückenspeck beim Probanden selbst mittels Biopsie gewonnen wurde. Bei der Variante "HNS" wurde der Ebergeruch in Form einer humansensorischen Beurteilung bei 3×10 Voll- bzw. Halbgeschwistern des Selektionskandidaten erfasst.

Die Simulationsergebnisse beider Varianten zeigten, dass bei der Verwendung des Informationsmerkmals "HNS" das gewünschte Ziel, den Anteil geruchsbelasteter Eber unter eine Grenze von 5 % zu drücken, erst 3 bis 4 Generationen später als bei der Variante Labor erzielte wurde. Durch die Kombination beider Informationsquellen "HNS" und "Labor" ergab sich kein zusätzlicher Selektionserfolg gegenüber der Einzelvariante "Labor". Ursache für die Unterlegenheit der "HNS" Variante war die deutlich niedrigere

Heritabilität ($h^2 = 0,15$) der HNS- im Vergleich zur Labor-Messung ($h^2 = 0,6$). Dieser Nachteil konnte offensichtlich nicht durch die höhere Anzahl Messungen bei Halb- bzw. Vollgeschwistern kompensiert werden.

Die beschriebenen Ergebnisse der eigenen Untersuchung standen nur bedingt im Einklang mit den prognostizierten Zuchterfolgen der Studie von WINDIG et al. (2012). In dieser Untersuchung waren die erwarteten Zuchterfolge im Merkmal Androstenon bei der Variante "HNS" nur geringfügig niedriger als bei der Variante "Labor". In der vorliegenden Studie wurden jedoch um fast die Hälfte niedrigere Selektionserfolge bei der Variante "HNS" gegenüber der Variante "Labor" berechnet. Im Unterschied zu den eigenen Simulationsmodellen mit 30 Geschwistern wurde das Merkmal HNS bei Windig an 4 Voll- bzw. 76 Halbgeschwistern gemessen. Darüber hinaus wurden die laboranalytisch erfassten Merkmale nicht wie in der eigenen Untersuchung am Probanden selbst sondern an 1 Voll- bzw. 19 Halbgeschwistern gemessen. Diese Unterschiede könnten als mögliche Ursache der festgestellten Diskrepanz beider Untersuchungen dienen. Aufgrund fehlender weiterer Details der Zusammensetzung des Zuchtziels waren weiterführende Interpretationen der festgestellten Abweichungen nicht möglich.

In einem letzten Schritt wurde die Palette möglicher Selektionsalternativen, um die Variante der Genomischen Selektion beim Ebergeruch ("GS") erweitert. Die GS-Methode scheint sich gegenwärtig in vielen Schweinezuchtorganisationen zu etablieren (GODDARD und HAYES 2009; GÖTZ 2011; LILLEHAMMER et al. 2011; SIMIANER 2009).

In der Simulationsvariante "GS" wurde angenommen, dass sich das genetische Potential für Androstenon mit einer Genauigkeit von 80 % aus der verfügbaren DNA des Probanden schätzen lässt. Die GS-Information wurde anschließend als zusätzliches oder alternatives Informationsmerkmal in das Simulationsprogramm integriert.

Bei Betrachtung der Simulationsergebnisse der Varianten "Labor" und "GS" konnten kaum Unterschiede im Merkmal Ebergeruch festgestellt werden. Daher orientiert sich die relative Vorzüglichkeit beider Verfahren zunächst an den zu erwartenden Kosten. Unter den derzeitigen Bedingungen erscheinen die Kosten der GS - Technologie einschließlich der Kalibration der GS-Schätzformel höher zu sein als die laboranalytische Erfassung des Ebergeruchs (siehe Abschnitt 4.4.3.2). Für eine Einführung der GS-Methodik würde aber die Möglichkeit sprechen, dass dieses Verfahren auch für andere Merkmale genutzt werden könnte. Dieses Szenarium wurde im Rahmen der Arbeit nicht weiter untersucht. Darüber

hinaus ist die GS-Methodik aus dem Blickwinkel der Vermeidung von unerwünschten Zuchtfortschritten bei Merkmalen der Fruchtbarkeit von Bedeutung. Besonderes Augenmerk ist hierbei auf die Genorte zu legen, mit deren Hilfe die antagonistische Beziehung der beiden Merkmalskomplexe Fruchtbarkeit und Ebergeruch umgangen werden könnte (Abschnitt 2.4.3). Die Studie von MOE et al. (2009) zeigte, dass es mehrere SNPs innerhalb der Gene CYP2C49, CYP2D6, NGFIB und CTNND1 für die Synthese und Metabolisierung von Androstenon gibt, die keine negativen Auswirkungen auf die Produktion wichtiger Steroidhormone, wie Testosteron oder Östrogene, ausüben. Eine Fokussierung auf diese Gene würde die Attraktivität der GS-Variante deutlich erhöhen.

6 Zusammenfassung

In der europäischen Union soll bis 2018, die operative Ferkelkastration ohne Anästhesie verboten werden. Neben der Immunokastration und der Kastration unter Betäubung ist die Ebermast aus ökonomischer und tierschützerischer Sicht eine attraktive Alternative. Nachteilig ist jedoch bei diesem Verfahren das Auftreten des sogenannten Ebergeruchs, der durch das Pheromon Androstenon und das Bakterienabbauprodukt Skatol verursacht wird. Eine umfassende Ausdehnung der Mast unkastrierter Jungeber ist in Zukunft unter der Voraussetzung möglich, dass nur ein geringer Anteil der Eberschlachtkörper Geruchsabweichungen aufweist und diese Tiere sicher erkannt werden können. Vor diesem Hintergrund waren die Hauptziele dieser Arbeit, den Anteil Eber mit Ebergeruch in aktuellen Schweinepopulationen zu quantifizieren und die züchterische Möglichkeiten zur Reduktion des Anteils an geruchsbelasteten Ebern zu untersuchen.

Um diese Fragen zu beantworten, wurden 1010 Eber, 432 Sauen und 107 Kastrate der Linie Piétrain × Kreuzungssau in fünf Prüfstationen (LPA), die im west- und süddeutschen Raum lokalisiert waren, leistungsgeprüft. Zur Charakterisierung relevanter Produktionseinflüsse auf den Ebergeruch erfolgte die Mast der Tiere in Einzel- und/oder Gruppenhaltung sowie in zwei Durchgängen während einer Periode mit an- oder absteigender Tageslichtlänge. Darüber hinaus wurde ein unterschiedliches durchschnittliches Endgewicht der Schlachtkörper von 85 oder 95 kg angestrebt. Zur Quantifizierung der Ebergeruchsstoffe dienten Speckproben aus dem Nackenbereich, welche mit dem Verfahren der GC/MS und HPLC analysiert wurden. Eber mit einer Konzentration von 250 ng Skatol und 500 ng Androstenon je g Fett wurden einer Gruppe mit erhöhtem Risiko für Ebergeruch zugeordnet. Diese Grenzwerte wurden insbesondere in älteren Studien zur sensorischen Abgrenzung von Schlachtkörpern mit Ebergeruch verwendet. Mit Blick auf die Ergebnisse aktuell veröffentlichter Konsumentenstudien, wurden alternativ die Grenzen für Skatol auf 150 ng/g Fett verschärft und die für Androstenon auf 2000 ng/g Fett abgeschwächt. Bei der traditionellen Grenzwertziehung wurden insgesamt 48,1 % der Eber als potentiell geruchsbelastet eingestuft. Verantwortlich hierfür war bei 19,4 % bzw. 38,8 % der Tiere ein Überschreiten der Skatol- bzw. Androstenongrenze. Auch bei der modifizierten Grenzwertziehung lagen 39,6 % der Tiere im Risikobereich, wobei hier jedoch Skatol mit 37,6 % eine, im Vergleich zu Androstenon mit 5,6 %, deutlich größere Bedeutung besaß. Im Vergleich zu vielen Veröffentlichungen

ist bei der Interpretation der hohen Skatolwerte zu beachten, dass das Standardfutters der Prüfstationen nicht im Bezug auf niedrige Skatolgehalte optimiert war.

Die Einflüsse der Haltungs- und Produktionsfaktoren, die im Versuch variiert wurden, lassen sich wie folgt zusammenfassen. Höhere Skatolwerte wurden bei den einzel gehaltenen Tieren beobachtet. Diese Feststellung ist unter Umständen, durch einen höheren Verschmutzungsgrad zu erklären, der jedoch im Versuch nicht weiter quantifiziert werden konnte. Bei den in Gruppen aufgestellten Ebern wurden um 222 ng/g Fett niedrigere Androstenonwerte als bei den einzel gehaltenen Tieren beobachtet. Für den untersuchten Saisoneffekt ließen sich für beide Komponenten unterschiedliche Aussagen treffen. Obwohl der Faktor Saison beim Androstenon signifikant war, wurden innerhalb der einzelnen LPAs nur tendenziell höhere Androstenonwerte im Winter gemessen. Ein solcher Trend war bei den Skatolkonzentrationen nicht zu erkennen. Der Effekt des Schlachtalters bzw. des Schlachtgewichtes hatten in der aktuellen Untersuchung keine Auswirkung auf beide Komponenten.

Neben den beschriebenen Umwelteffekten waren erhebliche Unterschiede in den Ebergeruchsstoffen zwischen den verschiedenen LPAs zu beobachten. Da innerhalb der verschiedenen Regionen unterschiedliche Eber- und Sauenlinien geprüft wurden, können insbesondere die Androstenonunterschiede als genetische Effekte interpretiert werden. Für eine solche Schlussfolgerung sprechen die im Rahmen der Arbeit festgestellten Unterschiede zwischen den Kreuzungen Piétrain \times Kreuzungssau und Duroc \times Kreuzungssau sowie die mittleren bis hohen Heritabilitäten, die auf der Grundlage der erfassten Daten und Abstammungsinformationen der Prüfeber geschätzt wurden. Die fleischreicheren und fettärmeren Piétrainkreuzungsschweine wiesen die niedrigsten Androstenongehalte im Vergleich zu den Duroc-Kreuzungstieren auf. Die Erblichkeitsgrade lagen für Androstenon und Skatol bei 0,6 bzw. 0,4.

Die züchterische Bearbeitung des Ebergeruchs wird durch die zu erwartende antagonistische Beziehung zwischen der Fruchtbarkeit und Androstenon erschwert. Die im Rahmen der Arbeit geschätzten Beziehungen zwischen paternaler Fruchtbarkeit der Besamungseber und dem Androstenongehalt der Söhne, zeigten keine eindeutig zu interpretierende Tendenz. Die genetischen Korrelationen (r_g) der Spermaqualitätsmerkmale und dem Androstenongehalt lagen nahe bei 0 oder waren mit sehr hohen Standardfehlern behaftet. Ähnlich verhielten sich die r_g , die zwischen der maternalen Fruchtbarkeit der weiblichen Reinzuchtverfahren und der Androstenonkonzentration der Prüfeber geschätzt

wurden. Die r_g zwischen dem Androstenongehalt und der Anzahl lebend geborener und abgesetzter Ferkel sowie dem Absetz-Konzeptions-Intervall der Sauen unterschieden sich kaum vom Wert 0. Eine Ausnahme war die ausgeprägte und unerwünschte r_g zwischen dem Androstenongehalt und dem Erstferkelalter der Sauen ($r_g = 0,44$).

Um die Auswirkungen einer Selektion gegen Ebergeruch zu quantifizieren, wurden im Rahmen der Arbeit Zuchtplanungsberechnungen mit Hilfe der Indextheorie durchgeführt. Dabei wurde als Informationsquelle des Ebergeruchs alternativ drei Szenarien unterstellt: a) laboranalytische Erfassung von Androstenon und Skatol, b) subjektive Erfassung durch Testpersonen im Schlachthof (Human Nose Score), c) Genotypisierung und Verwendung einer genomischen Selektionsformel. Nach den Ergebnissen dieser Simulationsstudien dauert es bei den Varianten a und c bei der Vaterlinie 4 Generationen, um den Anteil Eber mit über 1000 ng Androstenon je g Fett von 50 auf 5 % zu reduzieren, ohne negative Folgen für die berücksichtigten Reproduktionsmerkmale. Bei der Mutterlinie ist dieser Zeitraum deutlich länger (bis zu 9 Generationen), insbesondere dann wenn ausgeprägte und negative Beziehungen zwischen maternaler Fruchtbarkeit und Androstenon ($r_g = |0,3|$) unterstellt werden. Die Verwendung der Informationen des „Human Nose Scorings“ erbrachte aufgrund der zu erwartenden niedrigen Heritabilität einen vergleichsweise niedrigeren Zuchterfolg im Merkmal Ebergeruch. Die aktuell diskutierte Möglichkeit der Genomischen Selektion mit Hilfe von SNP-Arrays könnte dahingehend hilfreich sein, um die Auswirkung der gegenläufigen Beziehungen der beiden Merkmalskomplexe Fruchtbarkeit und Ebergeruch abzuschwächen. Um diese Perspektive endgültig beurteilen zu können, sind jedoch noch weitere Forschungsarbeiten notwendig.

7 Literaturverzeichnis

- ADAM, F. (2009): Ebermast oder Schmerzlinderung. Herausforderungen für Schweinehalter, LfL-Jahrestagung 2009, Mamming, Schriftreihe **13**: 29-42.
- ADAM, F. (2012a): Abrechnungsmodelle für Masteber im Vergleich (11.05.2012), Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/management/eberabrechnung.htm>).
- ADAM, F. (2012b): Aktueller Stand der Diskussion zur Ferkelkastration. Ebermast, Baulehrschau - Sondertag Schweinehaltung am 01.03.2012, Haus Düsse (<http://www.landwirtschaftskammer.de/duesse/lehrschau/pdf/2012/2012-03-01-ebermast-01.pdf>).
- ADAM, F., C. SCHULZE-LANGENHORST und L. BÜTTFERING (2009): Düsser Ergebnisse zur Ebermast - Knackpunkt Genusstauglichkeit. Landwirtschaftliches Wochenblatt **42**: 33-37.
- AFFENTRANGER, P., C. GERWIG, G. J. F. SEEWER, D. SCHWORER und N. KUNZI (1996): Growth and carcass characteristics as well as meat and fat quality of three types of pigs under different feeding regimens. Livestock Production Science **45**: 187-196.
- ALBRECHT, A. K., E. G. BEILAGE, E. KANITZ, B. PUPPE, I. TRAULSEN und J. KRIETER (2012): Influence of immunisation against GnRF on agonistic and mounting behaviour, serum testosterone concentration and body weight in male pigs compared with boars and barrows. Applied Animal Behaviour Science **138**: 28-35.
- ALCASDE (2009): Alternatives to Castration and Dehorning - Final report. (http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/farm/alcasde_study_04122009_en.pdf).
- ALUWÉ, M., K. M. BEKAERT, F. A. M. TUYTTENS, L. VANHAECKE, S. DE SMET, H. F. DE BRABANDER, D. L. DE BRABANDER und S. MILLET (2011): Influence of soiling on boar taint in boars. Meat Science **87**: 175-179.
- ANDERSSON, H. (2000): Photoperiodism in pigs. Studies on timing of male puberty and melatonin. Doctoral Thesis, Uppsala 2000. Swedish University of Agricultural Sciences. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Veterinaria 90.
- ANDERSSON, H., M. WALLGREN, L. RYDHMER, K. LUNDSTRÖM, K. ANDERSSON und M. FORSBERG (1998): Photoperiodic effects on pubertal maturation of spermatogenesis, pituitary responsiveness to exogenous GnRH, and expression of boar taint in crossbred boars. Animal Reproduction Science **54**: 121-137.
- ANDERSSON, K., A. SCHAUB, K. ANDERSSON, K. LUNDSTRÖM, S. THOMKE und I. HANSSON (1997): The effects of feeding system, lysine level and gilt contact on performance, skatole levels and economy of entire male pigs. Livestock Production Science **51**: 131-140.
- ANNOR-FREMPONG, I. E., G. R. NUTE, F. W. WHITTINGTON und J. D. WOOD (1997a): The problem of taint in pork. 1. Detection thresholds and odour profiles of androstenone and skatole in a model system. Meat Science **46**: 45-55.

- ANNOR-FREMPONG, I. E., G. R. NUTE, F. W. WHITTINGTON und J. D. WOOD (1997b): The problem of taint in pork. 2. The influence of skatole, androstenone and indole, presented individually and in combination in a model lipid base, on odour perception. *Meat Science* **47**: 49-61.
- ANONYMUS (1995): Die Ebermast. Die Ebermast, Angewandte Wissenschaft, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag Münster. **Heft 449**: 1-92.
- BABOL, J. und E. J. SQUIRES (1995): Quality of Meat from Entire Male Pigs. *Food Research International* **28**: 201-212.
- BABOL, J., E. J. SQUIRES und E. A. GULLETT (1995): Investigation of factors responsible for the development of boar taint. *Food Research International* **28**: 573-581.
- BABOL, J., E. J. SQUIRES und K. LUNDSTRÖM (1999): Relationship between metabolism of androstenone and skatole in intact male pigs. *Journal of Animal Science* **77**: 84-92.
- BABOL, J., G. ZAMARATSKAIA, R. K. JUNEJA und K. LUNDSTRÖM (2004): The effect of age on distribution of skatole and indole levels in entire male pigs in four breeds: Yorkshire, Landrace, Hampshire and Duroc. *Meat Science* **67**: 351-358.
- BAES, C., P. SPRING, S. AMPUERO, H. LUTHER und A. HOFER (2011a): The effect of androstenone, skatol and indol on semen quality. Proceedings of the International conference "Boars heading for 2018", Amsterdam (The Netherlands). **17**.
- BAES, C., P. SPRING, S. MATTEI, X. SIDLER, S. AMPUERO, U. WEINGARTNER, H. LUTHER und A. HOFER (2011b): Breeding against boar taint: The Swiss approach. Proceedings of the International conference "Boars heading for 2018", Amsterdam (The Netherlands). .
- BARTONGADE, P. A. (1987): Meat and Fat Quality in Boars, Castrates and Gilts. *Livestock Production Science* **16**: 187-196.
- BATOREK, N., M. CANDEK-POTOKAR, M. BONNEAU und J. VAN MILGEN (2012a): Meta-analysis of the effect of immunocastration on production performance, reproductive organs and boar taint compounds in pigs. *Animal* **6:8**: 1330-1338.
- BATOREK, N., M. SKRLEP, A. PRUNIER, I. LOUVEAU, J. NOBLET, B. M. und M. CANDEK-POTOKAR (2012b): Effect of feed restriction on hormones, performance, carcass traits, and meat quality in immunocastrated pigs. *Journal of Animal Science* **90**: 4593-4603.
- BAUER, A. (2010): Schlachtkörper - wie sind Jungeber zu bewerten? Expertenworkshop: Verzicht auf Ferkelkastration – Stand und Perspektiven, Statements Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) Berlin, 11. November 2010
- BERGSMA, R., E. F. KNOL und H. FEITSMA (2007): Parameters of AI boars and predicted correlated responses of selection against boar taint. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the EAAP, Dublin (Ireland).

- BONNEAU, M. (1987): Effects of Age and Live Weight on Fat 5-Alpha-Androstenone Levels in Young Boars Fed 2 Planes of Nutrition. *Reproduction Nutrition Development* **27**: 413-422.
- BONNEAU, M. (1998): Use of entire males for pig meat in the European Union. *Meat Science* **49**: S257-S272.
- BONNEAU, M. (2006): Factors affecting the level of androstenone. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48**: S7.
- BONNEAU, M. und P. CHEVILLON (2012): Acceptability of entire male pork with various levels of androstenone and skatole by consumers according to their sensitivity to androstenone. *Meat Science* **90**: 330-337.
- BONNEAU, M. und B. DESMOULIN (1980): Evolution de la teneur en androstenone des graisses après 80 kg de poids vif chez le porc mâle entier de type Large White: variations selon les conditions d'élevage. *Journées Recherche Porcine en France*: 109 - 116.
- BOYLE, L. A. und L. BJORKLUND (2007): Effects of fattening boars in mixed or single sex groups and split marketing on pig welfare. *Animal Welfare* **16**: 259-262.
- BRACHER-JAKOB, A. (2000): Jungebermast in Forschung und Praxis. Literaturstudie und Standortbestimmung. Arbeit im Auftrag der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Nutztiere, 1725 Posieux, unter Leitung von Peter Stoll.
- BRANSCHIED W. (1995): Die Ebermast - Fragen und Konsequenzen bei der Produktion von Schweinefleisch. Zielsetzung und Durchführung des Versuchs, 1 – 2. Die Ebermast, *Angewandte Wissenschaft Heft 449*, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag Münster.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2010): Tierschutzgesetz (<http://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html>).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2011a): Allgemeinen Verwaltungsvorschriften über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis (AVV Lebensmittelhygiene - AVV LmH) (Anlage IV. zu § 10 Absatz 2.). (http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_09112009_329225270006.htm).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2011b): Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper (Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung, SchwHKIV). Stand: 26.9.2011. (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/hdlklschwv_1986/gesamt.pdf).
- BUNDESRAT (2012): Entwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Tierschutzgesetzes vom 25.05.2012 (Drucksache 300/12). (<http://dipbt.bundestag.de/dip21/brd/2012/0300-12.pdf>).

- BURMAN, O., D. OWEN, U. ABOU ISMAIL und M. MENDEL (2008): Removing individual rats affects indicators of welfare in the remaining group members. *Physiology & Behavior* **93**: 89-96.
- CIOBANU, D. C., S. M. LONERGAN und E. J. HUFF-LONERGAN (2011): Genetics of Meat Quality and Carcass Traits. in "The Genetics of the Pig" (eds M.F. Rothschild and A. Ruvinsky), CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK. **2nd edition**: 355-389.
- CLAUS, R., U. WEILER und A. HERZOG (1994): Physiological aspects of androstenone and skatole formation in the boar - a review with experimental data. *Meat Science* **38**: 289-305.
- CLUTTER, A. C. (2011): Genetics of Performance Traits. in "The Genetics of the Pig" (eds M.F. Rothschild and A. Ruvinsky), CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK. **2nd edition**: 325-354.
- COURBOULAY, V., A. BREGEON, P. MASSABIE und M.-C. MEUNIER-SALAÜN (2003): Incidence du type de sol (caillebotis partiel/caillebotis intégral) et de la taille de la case sur le bien-être des porcs charcutiers. *Journées Recherche Porcine* **35**: 163-170.
- DAETWYLER, H. D., R. PONG-WONG, B. VILLANUEVA und J. A. WOOLLIAMS (2010): The Impact of Genetic Architecture on Genome-Wide Evaluation Methods. *Genetics* **185**: 1021-1031.
- DEHNHARD, M., H. BERNALBARRAGAN und R. CLAUS (1991): Rapid and Accurate High-Performance Liquid-Chromatographic Method for the Determination of 3-Methylindole (Skatole) in Feces of Various Species. *Journal of Chromatography, Biomedical Applications* **566**: 101-107.
- DEHNHARD, M., R. CLAUS, M. HILLENBRAND und A. HERZOG (1993): High-Performance Liquid-Chromatographic Method for the Determination of 3-Methylindole (Skatole) and Indole in Adipose-Tissue of Pigs. *Journal of Chromatography, Biomedical Applications* **616**: 205-209.
- DEKKERS, J. C. M. (2007): Prediction of response to marker-assisted and genomic selection using selection index theory. *Journal of Animal Breeding and Genetics* **124**: 331-341.
- DEUTSCHE BAUERNVERBAND (DBV), VERBAND DER FLEISCHWIRTSCHAFT (VDF) und HAUPTVERBAND DES DEUTSCHEN EINZELHANDELS (HDE) (2008): "Düsseldorfer Erklärung", Gemeinsame Erklärung zur Ferkelkastration. (http://www.zds-bonn.de/duesseldorfererklaerung_zur_ferkelkastration.html).
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2012a): Entwurf eines Dritten Gesetzes zur Änderung des Tierschutzgesetzes vom 29.08.2012 (Drucksache 17/10572). (<http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/105/1710572.pdf>).
- DEUTSCHER BUNDESTAG (2012b): Unterrichtung durch die Bundesregierung - Bericht über den Stand der Entwicklung des Tierschutzes 2011 vom 22. 08. 2011 (Tierschutzbericht 2011) (Drucksache 17/6826). (<http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/17/068/1706826.pdf>).

- DOBROWOLSKI, A., R. HÖRETH und W. BRANSCHIED (1995): Der Schlachtkörperwert von Ebern und Börgen und Probleme der Klassifizierung. Die Ebermast, Angewandte Wissenschaft, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag Münster. **Heft 449**: 6-13.
- DODENHOFF, J., M. SCHUSTER, W. WITTMANN, E. LITTMANN, J.-P. LINDNER und K.-U. GÖTZ (2011): Leistungsprüfung und Zuchtwertschätzung für Tropfsaftverlust beim Schwein in Bayern. *Züchtungskunde* **83**: 142-152.
- DORAN, E., F. A. WHITTINGTON, J. D. WOOD und J. D. MCGIVAN (2004): Characterisation of androstenone metabolism in pig liver microsomes. *Chemico-Biological Interactions* **147**: 141-149.
- DORAN, E., F. W. WHITTINGTON, J. D. WOOD und J. D. MCGIVAN (2002): Cytochrome P450IIE1 (CYP2E1) is induced by skatole and this induction is blocked by androstenone in isolated pig hepatocytes. *Chemico-Biological Interactions* **140**: 81-92.
- DORRIES, K. M., H. J. SCHMIDT, G. K. BEAUCHAMP und C. J. WYSOCKI (1989): Changes in Sensitivity to the Odor of Androstenone during Adolescence. *Developmental Psychobiology* **22**: 423-435.
- DUCRO-STEVERINK, D. (2006): Selection against boar taint: a simulation study. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48**: P6.
- DUIJVESTIJN, N., E. F. KNOL, J. W. M. MERKS, R. P. M. A. CROOIJMANS, M. A. M. GROENEN, H. BOVENHUIS und B. HARLIZIUS (2010): A genome-wide association study on androstenone levels in pigs reveals a cluster of candidate genes on chromosome 6. *BMC Genetics* **11**.
- DUTCH FOOD RETAIL ASSOCIATION (CBL), CENTRAL ORGANISATION FOR THE MEAT INDUSTRY (COV), NATIONAL FARMERS' ORGANISATION (LTO) und DUTCH PIG FARMERS' UNION (NVV) (2007): Declaration of Noordwijk. (http://www.lto.nl/media/default.aspx/emma/org/10359608/F1339289645%2Fdeclaration_of_noordwijk.pdf).
- EDWARDS, D. B., R. O. BATES und W. N. OSBURN (2003): Evaluation of Duroc- vs. Pietrain-sired pigs for carcass and meat quality measures. *Journal of Animal Science* **81**: 1895-1899.
- EDWARDS, D. B., R. J. TEMPELMAN und R. O. BATES (2006): Evaluation of Duroc- vs. Pietrain-sired pigs for growth and composition. *Journal of Animal Science* **84**: 266-275.
- EINARSSON, S. (2006): Vaccination against GnRH: pros and cons. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48 (Suppl 1)** S10.
- ELLIS, M., A. J. WEBB, P. J. AVERY und I. BROWN (1996): The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter weight, feeding regime and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties of fresh pork. *Animal Science* **62**: 521-530.

- ENGELSMA, K. A., R. BERGSMA, B. HARLIZIUS und E. F. KNOL (2007): Genetic parameters for components of boar taint and their relation with carcass quality and female fertility. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the EAAP, Dublin (Ireland).
- ESSL, A. (1981): Index Selection with Proportionality Restriction - Another Viewpoint. Journal of Animal Breeding and Genetics - Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie **98**: 125-131.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2009): Entscheidung der Kommission vom 11.5.2009 über die Erteilung einer Zulassung für das Tierarzneimittel "Improvac" gemäß der Verordnung (EG) Nr. 726/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates. (http://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2009/2009051157528/dec_57528_de.pdf).
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2010): Europäische Erklärung über Alternativen zur chirurgischen Kastration bei Schweinen. (http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/farm/docs/castration_pigs_declaration_de.pdf).
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2011): Durchführungsbeschluss der Kommission vom 19. August zur Annahme eines Arbeitsprogrammes für die Finanzierung der Tätigkeiten der Europäischen Union zur Erarbeitung von Alternativen zur operativen Kastration von Schweinen (2011/C 243/06). (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2011:243:0005:0011:DE:PDF>).
- EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2004): Verordnung (EG) Nr. 854/2004 vom 29. April 2004 mit besonderen Verfahrensvorschriften für die amtliche Überwachung von zum menschlichen Verzehr bestimmten Erzeugnissen tierischen Ursprungs (Amtsblatt der Europäischen Union). (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:139:0206:0320:DE:PDF>).
- EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY, E. F. S. A. (2004): Welfare aspects of castration of piglets. Opinion of the Scientific Panel on Animal Health and Welfare on a request from the Commission related to welfare aspects of the castration of piglets. The EFSA Journal **91**.
- EUROPEAN MEDICINES AGENCY (EU) (2012): Improvac : EPAR (European public assessment report) - Product Information.
- EYNCK, H. J. (2012): Ebermast und die neuen Schätzformeln für die Auto-FOM-Klassifizierung. Winterveranstaltung 2012, Tönnies, Davensberg (http://www.deutschebreeders.de/fileadmin/user_upload/pdf/Eynck_Ebermast_kurz__2012-01-31.pdf).
- FÀBREGA, E., M. GISPERT, J. TIBAU, M. HORTOS, M. A. OLIVER und M. F. I. FURNOLS (2011): Effect of housing system, slaughter weight and slaughter strategy on carcass and meat quality, sex organ development and androstenone and skatole levels in Duroc finished entire male pigs. Meat Science **89**: 434-439.
- FÀBREGA, E., A. VELARDE, J. CROS, M. GISPERT, P. SUAREZ, J. TIBAU und J. SOLER (2010): Effect of vaccination against gonadotrophin-releasing hormone, using Improvac (R), on growth performance, body composition, behaviour and acute phase proteins. Livestock Science **132**: 53-59.

- FALVO, R. E., V. CHANDRASHEKAR, R. D. ARTHUR, A. R. KUENSTLER, T. HASSON, C. AWONIYI und B. D. SCHANBACHER (1986): Effect of Active Immunization against Lhrh or Lh in Boars - Reproductive Consequences and Performance Traits. *Journal of Animal Science* **63**: 986-994.
- FAN, J. J., K. TRAORE, W. P. LI, H. AMRI, H. Z. HUANG, C. WU, H. L. CHEN, B. ZIRKIN und V. PAPADOPOULOS (2010): Molecular Mechanisms Mediating the Effect of Mono-(2-Ethylhexyl) Phthalate on Hormone-Stimulated Steroidogenesis in MA-10 Mouse Tumor Leydig Cells. *Endocrinology* **151**: 3348-3362.
- FISCHER, J., P. W. ELSINGHORST, M. BÜCKING, E. THOLEN, B. PETERSEN und M. WÜST (2011): Development of a Candidate Reference Method for the Simultaneous Quantitation of the Boar Taint Compounds Androstenone, 3alpha-Androstenol, 3beta-Androstenol, Skatole, and Indole in Pig Fat by Means of Stable Isotope Dilution Analysis Headspace Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Analytical chemistry* **83**: 6785-6791.
- FISCHER, K. und U. WEILER (1995): Aspekte der sensorischen Qualität von Eberfleisch. Die Ebermast, *Angewandte Wissenschaft, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten*, Landwirtschaftsverlag Münster. **Heft 449**: 46-54.
- FONT-I-FURNOLS, M. (2012): Consumer studies on sensory acceptability of boar taint: A review. *Meat Science* **92**: 319-329.
- FONT-I-FURNOLS, M., M. GISPERT, A. DIESTRE und M. A. OLIVER (2003): Acceptability of boar meat by consumers depending on their age, gender, culinary habits, and sensitivity and appreciation of androstenone odour. *Meat Science* **64**: 433-440.
- FONT-I-FURNOLS, M., M. GISPERT, L. GUERRERO, A. VELARDE, J. TIBAU, J. SOLER, M. HORTOS, J. A. GARCIA-REGUEIRO, J. PEREZ, P. SUAREZ und M. A. OLIVER (2008): Consumers' sensory acceptability of pork from immunocastrated male pigs. *Meat Science* **80**: 1013-1018.
- FREDRIKSEN, B. und C. HEXEBERG (2009): The effect of removing animals for slaughter on the behaviour of the remaining male and female pigs in the pen. *Research in Veterinary Science* **86**: 368-370.
- FREDRIKSEN, B., A. M. S. JOHNSEN und E. SKUTERUD (2011): Consumer attitudes towards castration of piglets and alternatives to surgical castration. *Research in Veterinary Science* **90**: 352-357.
- FREDRIKSEN, B., B. M. LIUM, C. H. MARKA, B. T. HEIER, E. DAHL, J. U. CHOINSKI und O. NAFSTAD (2006a): Entire male pigs in a farrow-to-finish system. Effects on androstenone and skatole. *Livestock Science* **102**: 146-154.
- FREDRIKSEN, B., O. NAFSTAD, B. M. LIUM, C. H. MARKA, E. DAHL und J. U. CHOINSKI (2006b): Artificial light programmes in entire male pig production – effects on androstenone, skatole and animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48(Suppl 1)**: P3.

- FUCHS, T., H. NATHUES, A. KOEHRMANN, S. ANDREWS, F. BROCK, N. SUDHAUS, G. KLEIN und E. G. BEILAGE (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**: 702-705.
- GARCÍA-REGUEIRO, J. A. und I. DIAZ (1989): Evaluation of the Contribution of Skatole, Indole, Androstenone and Androstenols to Boar-Taint in Back Fat of Pigs by Hplc and Capillary Gas-Chromatography (Cgc). *Meat Science* **25**: 307-316.
- GIERSING, M., J. LADEWIG und B. FORKMAN (2006): Animal welfare aspects of preventing boar taint. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48(Suppl 1):S3**.
- GIERSING, M., K. LUNDSTRÖM und A. ANDERSSON (2000): Social effects and boar taint: Significance for production of slaughter boars (*Sus scrofa*). *Journal of Animal Science* **78**: 296-305.
- GILBERT, A. N. und C. J. WYSOCKI (1987): The Smell Survey results. *National Geographic* **172**: 514-525.
- GISPERT, M., M. F. I. FURNOLS, M. GIL, A. VELARDE, A. DIESTRE, D. CARRION, A. A. SOSNICKI und G. S. PLASTOW (2007): Relationships between carcass quality parameters and genetic types. *Meat Science* **77**: 397-404.
- GREGER, D., S. ANTLE, A. PLATH-GABLER, K. GUTSHALL, E. MILLS, R. HAMMERSTEDT, D. HAGEN und C. BAUMRUCKER (2001): Identification of a porcine CYP11A1 polymorphism and associations with steroid concentrations and reproductive traits in pigs. *Proceedings of the Plant and Animal Genome IX Conference, San Diego (USA)*.
- GRINDFLEK, E., S. LIEN, H. HAMLAND, M. H. S. HANSEN, M. KENT, M. VAN SON und T. H. E. MEUWISSEN (2011): Large scale genome-wide association and LDLA mapping study identifies QTLs for boar taint and related sex steroids. *BMC Genomics* **12**: 362.
- GRINDFLEK, E., J. SZYDA, Z. T. LIU und S. LIEN (2001): Detection of quantitative trait loci for meat quality in a commercial slaughter pig cross. *Mammalian Genome* **12**: 299-304.
- GROENEVELD, E. (1990): PEST User's Manual. Institute for Animal Science and Animal Husbandry, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Mariensee/Neustadt, Germany.
- GROENEVELD, E., M. KOVAC und N. MIELENZ (2010): VCE User's Guide and Reference Manual, Version 6.0. Institute of Farm Animal Genetics, Friedrich Loeffler Institute (FLI), Mariensee, Neustadt, Germany; University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Animal Science, Domale, Slovenia; Institute of Agricultural and Nutritional Sciences, Martin Luther University, Halle, Germany.
- GUNAWAN, A., S. SAHADEVAN, C. NEUHOFF, C. GROBE-BRINKHAUS, A. GAD, L. FRIEDEN, D. TEFAYE, E. THOLEN, C. LOOFT, M. J. UDDIN, K. SCHELLANDER und M. U. CINAR (2013): RNA Deep Sequencing Reveals Novel Candidate Genes and Polymorphisms in Boar Testis and Liver Tissues with Divergent Androstenone Levels. *PLoS ONE* **8(5)**.

- HABIER, D., K.-U. GÖTZ und L. DEMPFLER (2004): Ökonomische Gewichte von Leistungsmerkmalen für Vaterrassen in der bayerischen Schweinezucht. *Züchtungskunde* **76**: 307 - 320.
- HANSEN, L. L., A. E. LARSEN, B. B. JENSEN, J. HANSEN-MOLLER und P. BARTONGADE (1994): Influence of Stocking Rate and Feces Deposition in the Pen at Different Temperatures on Skatole Concentration (Boar Taint) in Subcutaneous Fat. *Animal Production* **59**: 99-110.
- HARDER, R. R., D. D. LUNSTRA und R. K. JOHNSON (1995): Growth of Testes and Testicular Morphology after 8 Generations of Selection for Increased Predicted Weight of Testes at 150 Days of Age in Boars. *Journal of Animal Science* **73**: 2186-2192.
- HAUGEN, J. E. (2010): Methods to detect boar taint. State of the art and critical review. European Commission Workshop on pig welfare - castration of piglets, 2. June 2010, Brussels (Belgium).
- HAUGEN, J. E., C. BRUNIUS und G. ZAMARATSKAIA (2012): Review of analytical methods to measure boar taint compounds in porcine adipose tissue: The need for harmonised methods. *Meat Science* **90**: 9-19.
- HAZEL, L. N. (1943): The genetic basis for construction of selection indexes. *Genetics* **28**: 476-490.
- HENNING, M., K. FISCHER, U. BAULAIN und E. KALLWEIT (1995): Physikalische Untersuchungen zur Bewertung der Beschaffenheit von Eberfleisch. Die Ebermast, *Angewandte Wissenschaft, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag Münster*. **Heft 449**: 40-45.
- HOFMO, P. O. (2006): Sperm sorting and low-dose insemination in the pig – an update. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48(Suppl 1)**: S11.
- HONIKEL, K. O. (1998): Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science* **49**: 447-457.
- HOPPENBROCK, K. H. (1995): Mastleistung von Ebern. Die Ebermast, *Angewandte Wissenschaft, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag Münster*. **Heft 449**: 3-5.
- JOHNSON, L. A., D. RATH, J. M. VAZQUEZ, W. M. C. MAXWELL und J. R. DOBRINSKY (2005): Preselection of sex of offspring in swine for production: current status of the process and its application. *Theriogenology* **63**: 615-624.
- KANIS, E., G. J. NIEUWHOF, K. H. DEGREEF, W. VANDERHEL, M. W. A. VERSTEGEN, J. HUISMAN und P. VANDERWAL (1990): Effect of Recombinant Porcine Somatotropin on Growth and Carcass Quality in Growing Pigs - Interactions with Genotype, Gender and Slaughter Weight. *Journal of Animal Science* **68**: 1193-1200.

- KARACAÖREN, B., D. J. DE KONING, I. H. VELANDER, C. S. HALEY und A. L. ARCHIBALD (2010): Alternative association analysis on boar taint using discordant sib pairs experimental design. Proceedings of the 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Leipzig (Germany).
- KELLER, A., H. Y. ZHUANG, Q. Y. CHI, L. B. VOSSHALL und H. MATSUNAMI (2007): Genetic variation in a human odorant receptor alters odour perception. *Nature* **449**: 468-473.
- KLUIVERS-POODT, M., B. B. HOUX, S. R. M. ROBBEN, G. KOOP, E. LAMBOOIJ und L. J. HELLEBREKERS (2012): Effects of a local anaesthetic and NSAID in castration of piglets, on the acute pain responses, growth and mortality. *Animal* **6:9**: 1469–1475.
- KNOL, E. F., S. BLOEMHOF, L. HEERENS und G. TACKEN (2010): Selection against boar taint: slaughter line panel and consumer perceptions. Proceedings of the 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Leipzig (Germany).
- KUPPER, T. und P. SPRING (2008): Projekt ProSchwein Synthesebericht (Final report). Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Zollikofen, Switzerland (<http://svsm.ch/Docs/file/Ferkelkastration/Synthesebericht.pdf>).
- LAHRMANN, K. H. (2006): Klinisch experimentelle Untersuchungen zur Ketamin/Azaperon-Allgemelnanästhesie bei Schweinen. *Praktischer Tierarzt* **87:9**: 713-725.
- LANZA, D. L. und G. S. YOST (2001): Selective dehydrogenation/oxygenation of 3-methylindole by cytochrome P450 enzymes. *Drug Metabolism and Disposition* **29**: 950-953.
- LE MIGNON, G., N. LANNUCCELLI, A. ROBIC, Y. BILLON, J. BIDANEL und C. LARZUL (2010): Fine mapping of quantitative trait loci for androstenone and skatol levels in pig. Proceedings of the 9th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Leipzig (Germany).
- LEE, G. J., A. L. ARCHIBALD, A. S. LAW, S. LLOYD, J. WOOD und C. S. HALEY (2004): Detection of quantitative trait loci for androstenone, skatole and boar taint in a cross between Large White and Meishan pigs. *Animal Genetics* **36**: 14-22.
- LFL TIERZUCHT (2010): BLUP-Tiermodellzuchtwertschätzung beim Schwein. Institut für Tierzucht der Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (www.lfl.bayern.de/itz/schwein).
- LIN, Z. H., Y. P. LOU, J. PEACOCK und E. J. SQUIRES (2005): A novel polymorphism in the 5' untranslated region of the porcine cytochrome b5 (CYB5) gene is associated with decreased fat androstenone level. *Mammalian Genome* **16**: 367-373.
- LIN, Z. H., Y. P. LOU und E. J. SQUIRES (2004): Molecular cloning and functional analysis of porcine SULT1A1 gene and its variant: a single mutation SULT1A1 causes a significant decrease in sulfation activity. *Mammalian Genome* **15**: 218-226.

- LIN, Z. H., Y. P. LOU und E. J. SQUIRES (2006): Functional polymorphism in porcine CYP2E1 gene: Its association with skatole levels. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* **99**: 231-237.
- LÖSEL, D. (2006): Versuche zur Verbesserung der sensorischen Fleischqualität beim Schwein durch nutritive Hemmung der Skatolbildung. Inaugural-Dissertation, Hohenheim.
- LUNDE, K., B. EGELANDSDAL, E. SKUTERUD, J. D. MAINLAND, T. LEA, M. HERSLETH und H. MATSUNAMI (2012): Genetic Variation of an Odorant Receptor OR7D4 and Sensory Perception of Cooked Meat Containing Androstenone. *PLoS ONE* **7**.
- LUNDE, K., E. SKUTERUD, M. HERSLETH und B. EGELANDSDAL (2010): Norwegian consumers' acceptability of boar tainted meat with different levels of androstenone or skatole as related to their androstenone sensitivity. *Meat Science* **86**: 706-711.
- LUNDSTRÖM, K., K. R. MATTHEWS und J. E. HAUGEN (2009): Pig meat quality from entire males. *Animal* **3**: 1497-1507.
- MATHUR, P. K., H. A. MULDER, J. TEN NAPEL, J. J. WINDIG, R. E. CRUMP, B. VAN DER FELS, L. HERES, S. L. BLOEMHOF, M. S. und E. F. KNOL (2011): Genetic solution to the problem of boar taint for production of entire males. Proceedings of the International conference "Boars heading for 2018", Amsterdam (The Netherlands). .
- MATTHEWS, K. R., D. B. HOMER, P. PUNTER, M. P. BEAGUE, M. GISPERT, A. J. KEMPSTER, H. AGERHEM, C. CLAUDI-MAGNUSSEN, K. FISCHER, F. SIRET, H. LEASK, M. F. I. FURNOLS und M. BONNEAU (2000): An international study on the importance of androstenone and skatole for boar taint: III. Consumer survey in seven European countries. *Meat Science* **54**: 271-283.
- MEIER-DINKEL, L., J. TRAUTMANN, L. FRIEDEN, E. THOLEN, C. KNORR, A. R. SHARIFI, M. BÜCKING, M. WICKE und D. MÖRLEIN (2013): Consumer perception of boar meat as affected by labelling information, malodorous compounds and sensitivity to androstenone. *Meat Science* **93**: 248-256.
- MERKS, J. W. M., S. BLOEMHOF, P. K. MATHUR und E. F. KNOL (2010): Quantitative genetic opportunities to ban castration. Proceedings of the 61st Annual Meeting of the EAAP, Heraklion, Kreta (Greece).
- MERKS, J. W. M., E. H. A. T. HANENBERG, S. BLOEMHOF und E. F. KNOL (2009): Genetic opportunities for pork production without castration. *Animal Welfare* **18**: 539-544.
- METTE, A. (2008): Untersuchungen zur Isofluran-Narkose beim Schwein. Inaugural-Dissertation, München.
- MILLER, W. L. (1995): Mitochondrial specificity of the early steps in steroidogenesis. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* **55**: 607-616.
- MILLET, S., K. GIELKENS, D. DE BRABANDER und G. P. J. JANSSENS (2011): Considerations on the performance of immunocastrated male pigs. *Animal* **5**: 1119-1123.

- MOE, M., S. LIEN, T. AASMUNDSTAD, T. H. E. MEUWISSEN, M. H. S. HANSEN, C. BENDIXEN und E. GRINDFLEK (2009): Association between SNPs within candidate genes and compounds related to boar taint and reproduction. *BMC Genetics* **10**: 32.
- MOE, M., T. MEUWISSEN, S. LIEN, C. BENDIXEN, X. F. WANG, L. N. CONLEY, I. BERGET, H. TAJET und E. GRINDFLEK (2007): Gene expression profiles in testis of pigs with extreme high and low levels of androstenone. *BMC Genomics* **8**: 405.
- MÖRLEIN, D. (2007): Zerstörungsfreie Bestimmung des intramuskulären Fettgehaltes (IMF) im Kotelett von Schweinen mittels Ultraschall. *Züchtungskunde* **79**: 81-91.
- MÖRLEIN, D., A. GRAVE, A. REZA SHARIFI, M. BÜCKING und M. WICKE (2012a): Different scalding techniques do not affect boar taint. *Meat Science* **91**: 435-440.
- MÖRLEIN, D., M. LUNGERSHAUSEN, K. STEINKE, A. REZA SHARIFI und C. KNORR (2012b): A single nucleotide polymorphism in the CYP2E1 gene promoter affects skatole content in backfat of boars of two commercial Duroc-sired crossbred populations. *Meat Science* **92**: 739-744.
- NOLD, R. A., J. R. ROMANS, W. J. COSTELLO, J. A. HENSON und G. W. LIBAL (1997): Sensory characteristics and carcass traits of boars, barrows, and gilts fed high- or adequate-protein diets and slaughtered at 100 or 110 kilograms. *Journal of Animal Science* **75**: 2641-2651.
- PARRILLA, I., D. DEL OLMO, I. CABALLERO, T. TARANTINI, C. CUELLO, M. A. GIL, J. ROCA, E. A. MARTINEZ und J. M. VAZQUEZ (2012): The Effect of Glycerol Concentrations on the Post-thaw In Vitro Characteristics of Cryopreserved Sex-sorted Boar Spermatozoa. *Reproduction in Domestic Animals* **47**: 965-974.
- PATTERSON, R. (1968): 5alpha-androst-16-ene-3-one: Compound responsible for taint in boar fat. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **19**: 31-38.
- PAULY, C., P. SPRING, J. V. O'DOHERTY, S. A. KRAGTEN und G. BEE (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**: 1707-1715.
- PAULY, C., P. SPRING, J. V. O'DOHERTY, S. A. KRAGTEN und G. BEE (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**: 1057-1066.
- PEACOCK, J., Y. LOU, K. LUNDSTRÖM und E. J. SQUIRES (2007): The effect of a c.-8G > T polymorphism on the expression of cytochrome b5A and boar taint in pigs. *Animal Genetics* **39**: 15-21.
- PIGCAS (2008): Report on the evaluation of research and other information. Deliverable D3.3 of the EU project PIGCAS: Attitude, practices and state of the art regarding piglet castration in Europe. (<http://w3.rennes.inra.fr/pigcas/>).
- PIGCAS (2009a): EU project PIGCAS: Attitude, practices and state of the art regarding piglet castration in Europe. (<http://w3.rennes.inra.fr/pigcas/>).

- PIGCAS (2009b): Informations for stakeholders: Castration of piglets and alternatives. Deliverable D1.1 of the EU project PIGCAS: Attitude, practices and state of the art regarding piglet castration in Europe. (<http://w3.rennes.inra.fr/pigcas/>).
- PIGCAS (2009c): Report on recommendations for research and policy support. Deliverable D4.1 of the EU project PIGCAS: Attitude, practices and state of the art regarding piglet castration in Europe. (<http://w3.rennes.inra.fr/pigcas/>).
- PREINERSTORFER, A., A. LEITHOLD, G. HUBER, B. KRIMBERGER und I. MÖSENBACHER-MOLTERER (2010): Erfahrungen zur Ebermast. Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein, 27.05.2010, S. 47-54 (http://www.raumberg-gumpenstein.at/c/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=3809&Itemid=100014&lang=de).
- PRUNIER, A., M. BONNEAU und M. ETIENNE (1987): Effects of age and live weight on the sexual development of gilts and boars fed two planes of nutrition. *Reproduction Nutrition Development* **27**: 689-700.
- QS FACHBEIRATES RIND- UND KALBFLEISCH. SCHWEINEFLEISCH (2009): Schmerzmitteleinsatz bei der Ferkelkastration. Vorgehensweise und Umsetzung in der Praxis. (http://animal-health-online.de/kastrat/doc/qs_09_01_22_beschluss_schmerzmittel_ferkelkastration_.pdf).
- QUALITÄT UND SICHERHEIT GMBH (2011): Rundschreiben: Neuerungen zum Schmerzmitteleinsatz bei der Ferkelkastration. Stand:12.07.2010. (http://www.znvg.de/cms_images/100712_%20RS_05_Ferkelkastration_SchmerzmitteleinsatzL.pdf).
- QUALITÄT UND SICHERHEIT GMBH (2013a): Leitfaden Schweineproduktion. (http://www.q-s.de/dc_lw_schweinehaltung.html).
- QUALITÄT UND SICHERHEIT GMBH (2013b): QS - aus Überzeugung. (http://www.q-s.de/fleisch_landwirtschaft.html).
- QUINTANILLA, R., O. DEMEURE, J. P. BIDANEL, D. MILAN, N. IANNUCELLI, Y. AMIGUES, J. GRUAND, C. RENARD, C. CHEVALET und M. BONNEAU (2003): Detection of quantitative trait loci for fat androstenone levels in pigs. *J. Anim. Sci.* **81**: 385-394.
- RAMOS, A. M., N. DUIJVESTIJN, E. F. KNOL, J. W. M. MERKS, H. BOVENHUIS, R. P. M. A. CROOIJMANS, M. A. M. GROENEN und B. HARLIZIUS (2011): The distal end of porcine chromosome 6p is involved in the regulation of skatole levels in boars. *BMC Genetics* **12**.
- RASMUSSEN, A. J. und M. ANDERSSON (1996): New method for determination of driploss in pork muscles. In Hildrum & Risvik (Eds.). *Proc. 42nd International Congress of Meat Science and Technology*, Lillehammer, Norway: pp. 286-287.
- RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2009): Richtlinie 2008/120/EG des Rates vom 18. Dezember 2008 über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen (kodifizierte Fassung) (Amtsblatt der Europäischen Union). (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:047:0005:0013:DE:PDF>).

- RIUS, M. A., M. HORTOS und J. A. GARCIA-REGUEIRO (2005): Influence of volatile compounds on the development of off-flavours in pig back fat samples classified with boar taint by a test panel. *Meat Science* **71**: 595-602.
- ROBIC, A., G. LE MIGNON, K. FEVE, C. LARZUL und J. RIQUET (2011): New investigations around CYP11A1 and its possible involvement in an androstenone QTL characterised in Large White pigs. *Genetics Selection Evolution* **43**.
- ROCA, J., I. PARRILLA, H. RODRIGUEZ-MARTINEZ, M. A. GIL, C. CUELLO, J. M. VAZQUEZ und E. A. MARTINEZ (2011): Approaches Towards Efficient Use of Boar Semen in the Pig Industry. *Reproduction in Domestic Animals* **46**: 79-83.
- RYDHMER, L., S. STERN und L. MALMGREN (1993): Sexual maturation of entire males at pig progeny testing station. Proceedings of the 44th Annual Meeting of the EAAP, Pig Commission, Aarhus (Denmark).
- RYDHMER, L., G. ZAMARATSKAIA, H. K. ANDERSSON, B. ALGER und K. LUNDSTRÖM (2004): Problems with aggressive and sexual behaviour when rearing entire male pigs. Proceedings of the 55th Annual Meeting of the EAAP, Bled (Slovenia).
- SAS (2002-2008): SAS - Statistical Analysis Software, Version 9.2., SAS Institute Incorporated, Cary, North Carolina (USA).
- SCHULZ, C. (2007): Auswirkung einer Isofluran-Inhalationsnarkose auf den Kastrationsstress und die postoperativen Kastrationsschmerzen von Ferkeln. Inaugural-Dissertation, München.
- SCHWEIZER BUNDESRAT (2012): Tierschutzverordnung 455.1 (TSchV) vom 23. April 2008 (Stand am 1. Juni 2012). (<http://www.admin.ch/ch/d/sr/4/455.1.de.pdf>).
- SELLIER, P. (1998): Genetics of Meat and Carcass Traits. in: "The Genetics of the Pig" (eds M.F. Rothschild and A. Ruvinsky), CAB International, Wallingford, Oxon, (United Kingdom). pp. 463-510.
- SELLIER, P. und M. BONNEAU (1988): Genetic-Relationships between Fat Androstenone Level in Males and Development of Male and Female Genital-Tract in Pigs. *Journal of Animal Breeding and Genetics - Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie* **105**: 11-20.
- SELLIER, P., P. LE ROY, M. N. FOUILLOUX, J. GRUAND und M. BONNEAU (2000): Responses to restricted index selection and genetic parameters for fat androstenone level and sexual maturity status of young boars. *Livestock Production Science* **63**: 265-274.
- SKINNER, T. M., E. DORAN, J. D. MCGIVAN, C. S. HALEY und A. L. ARCHIBALD (2005): Cloning and mapping of the porcine cytochrome-p450 2E1 gene and its association with skatole levels in the domestic pig. *Animal Genetics* **36**: 417-422.
- SKRLEP, M., N. BATOREK, M. BONNEAU, G. FAZARINC, B. SEGULA und M. CANDEK-POTOKAR (2012): Elevated fat skatole levels in immunocastrated, surgically castrated and entire male pigs with acute dysentery. *The Veterinary Journal* **194**: 417-419.

- SQUIRES, E. J. (2006): Possibilities for selection against boar taint. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48**: S8.
- SQUIRES, E. J. und K. LUNDSTROM (1997): Relationship between cytochrome P450III_{E1} in liver and levels of skatole and its metabolites in intact male pigs. *J. Anim. Sci.* **75**: 2506-2511.
- TAJET, H., O. ANDRESEN und T. MEUWISSEN (2006): Estimation of genetic parameter of boar taint: skatole and androstenone and their correlations with sexual maturation. *Acta Veterinaria Scandinavica* **48**: S9.
- THOMPSON, M., S. L. R. ELLISON und R. WOOD (2002): Harmonized guidelines for single-laboratory validation of methods of analysis - (IUPAC technical report). *Pure Applied Chemistry* **74**: 835-855.
- THOMPSON, M. und R. WOOD (1995): Harmonized guidelines for internal quality-control in analytical-chemistry laboratories - Technical report. *Pure Applied Chemistry* **67**: 649-666.
- VARONA, L., O. VIDAL, R. QUINTANILLA, M. GIL, A. SANCHEZ, J. M. FOLCH, M. HORTOS, M. A. RIUS, M. AMILLS und J. L. NOGUERA (2005): Bayesian analysis of quantitative trait loci for boar taint in a Landrace outbred population. *Journal of Animal Science* **83**: 301-307.
- VAZQUEZ, J. M., I. PARRILLA, J. ROCA, M. A. GIL, C. CUELLO, J. L. VAZQUEZ und E. A. MARTINEZ (2009): Sex-sorting sperm by flow cytometry in pigs: Issues and perspectives. *Theriogenology* **71**: 80-88.
- VON BORELL, E., J. BAUMGARTNER, M. GIERSING, N. JAGGIN, A. PRUNIER, F. A. M. TUYTTENS und S. A. EDWARDS (2009): Animal welfare implications of surgical castration and its alternatives in pigs. *Animal* **3**: 1488-1496.
- WALDMANN, K. H., K. OTTO und W. BOLLWAHN (1994): Ferkelkastration - Schmerzempfindung und Schmerzausschaltung. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* **101**: 105-109.
- WALSTRA, P. (1974): Fattening of young boars: Quantification of negative and positive aspects. *Livestock Production Science* **1**: 187-196.
- WEBER, R. (2012): Perforierte Liegeflächen in der Mastschweinehaltung. Schlussbericht. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Entenhausen (<http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?lang=de&aid=31281&pid=30936&vmode=fancy>).
- WEILER, U., M. DEHNHARD, E. HERBERT und R. CLAUS (1995): Einfluß von Geschlecht, Genotyp und Mastendgewicht auf die Androstenon- und Skatolkonzentrationen im Fett von Mastschweinen. Die Ebermast, *Angewandte Wissenschaft, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landwirtschaftsverlag Münster. Heft 449*: 14-32.

- WEILER, U., M. F. I. FURNOLS, K. FISCHER, H. KEMMER, M. A. OLIVER, M. GISPERT, A. DOBROWOLSKI und R. CLAUS (2000): Influence of differences in sensitivity of Spanish and German consumers to perceive androstenone on the acceptance of boar meat differing in skatole and androstenone concentrations. *Meat Science* **54**: 297-304.
- WEILER, U. und R. WESOLY (2012): Physiologische Aspekte der Androstenon- und Skatolbildung beim Eber (Physiology of skatole- and androstenone formation in the boar). *Züchtungskunde* **84**: S. 365 – 393.
- WERNER, C., R. NATTER und M. WICKE (2010): Changes of the activities of glycolytic and oxidative enzymes before and after slaughter in the longissimus muscle of Pietrain and Duroc pigs and a Duroc-Pietrain crossbreed. *Journal of Animal Science* **88**: 4016-4025.
- WESOLY, R. und U. WEILER (2012): Wirkung von Fütterungsmaßnahmen auf die Skatolbildung und die Skatoleinlagerung beim Schwein (Influences of feed and feed additives on the skatole formation and accretion in adipose tissue of pigs). *Züchtungskunde* **84**: S. 412 – 426.
- WILLEKE, H., R. CLAUS, E. MULLER, F. PIRCHNER und H. KARG (1987): Selection for high and low-level of 5-alpha-androst-16-en-3-one in boars. 1. Direct and correlated response of endocrinologic traits. *Journal of Animal Breeding and Genetics - Zeitschrift für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie* **104**: 64-73.
- WINDIG, J. J., H. A. MULDER, J. TEN NAPEL, E. F. KNOL, P. K. MATHUR und R. E. CRUMP (2012): Genetic parameters for androstenone, skatole, indole, and human nose scores as measures of boar taint and their relationship with finishing traits. *Journal of Animal Science* **90**: 2120-2129.
- WÜNSCH, U., G. NITTER und L. SCHÜLER (1999): Genetic and economic evaluation of genetic improvement schemes in pigs. 1. Method of evaluation with an example to a three way crossbreeding scheme. *Archive für Tierzucht, Dummerstorf* **42**: 571-582.
- XUE, J. L., G. D. DIAL und J. E. PETTIGREW (1997): Performance, carcass, and meat quality advantages of boars over barrows: A literature review. *Swine Health and Production* **5**: 21-28.
- ZAMARATSKAIA, G., J. BABOL, H. ANDERSSON und K. LUNDSTRÖM (2004): Plasma skatole and androstenone levels in entire male pigs and relationship between boar taint compounds, sex steroids and thyroxine at various ages. *Livestock Production Science* **87**: 91-98.
- ZAMARATSKAIA, G., J. BABOL, H. K. ANDERSSON, K. ANDERSSON und K. LUNDSTRÖM (2005a): Effect of live weight and dietary supplement of raw potato starch on the levels of skatole, androstenone, testosterone and oestrone sulphate in entire male pigs. *Livestock Production Science* **93**: 235-243.
- ZAMARATSKAIA, G., L. RYDHMER, G. CHEN, A. MADEJ, H. K. ANDERSSON und K. LUNDSTRÖM (2005b): Boar taint is related to endocrine and anatomical changes at puberty but not to aggressive behaviour in entire male pigs. *Reproduction in Domestic Animals* **40**: 500-506.

- ZAMARATSKAIA, G. und E. J. SQUIRES (2008): Biochemical, nutritional and genetic effects on boar taint in entire male pigs. *Animal* **3**: 1508-1521.
- ZANKL, A. (2007): Untersuchungen zur Wirksamkeit und Gewebeverträglichkeit von Lokalanästhetika bei der Kastration männlicher Saugferkel. Inaugural-Dissertation, München.
- ZDS (2007): Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein. Ausschuss für Leistungsprüfung und Zuchtwertschätzung (ALZ) beim Schwein des Zentralverbandes der Deutschen Schweineproduktion (ZDS). (www.zds-bonn.de/services/files/richtlinien/rl-NKP-07.pdf).
- ZÖLS, S. (2006): Möglichkeiten der Schmerzreduzierung bei der Kastration männlicher Saugferkel. Inaugural-Dissertation, München.

8 Appendix

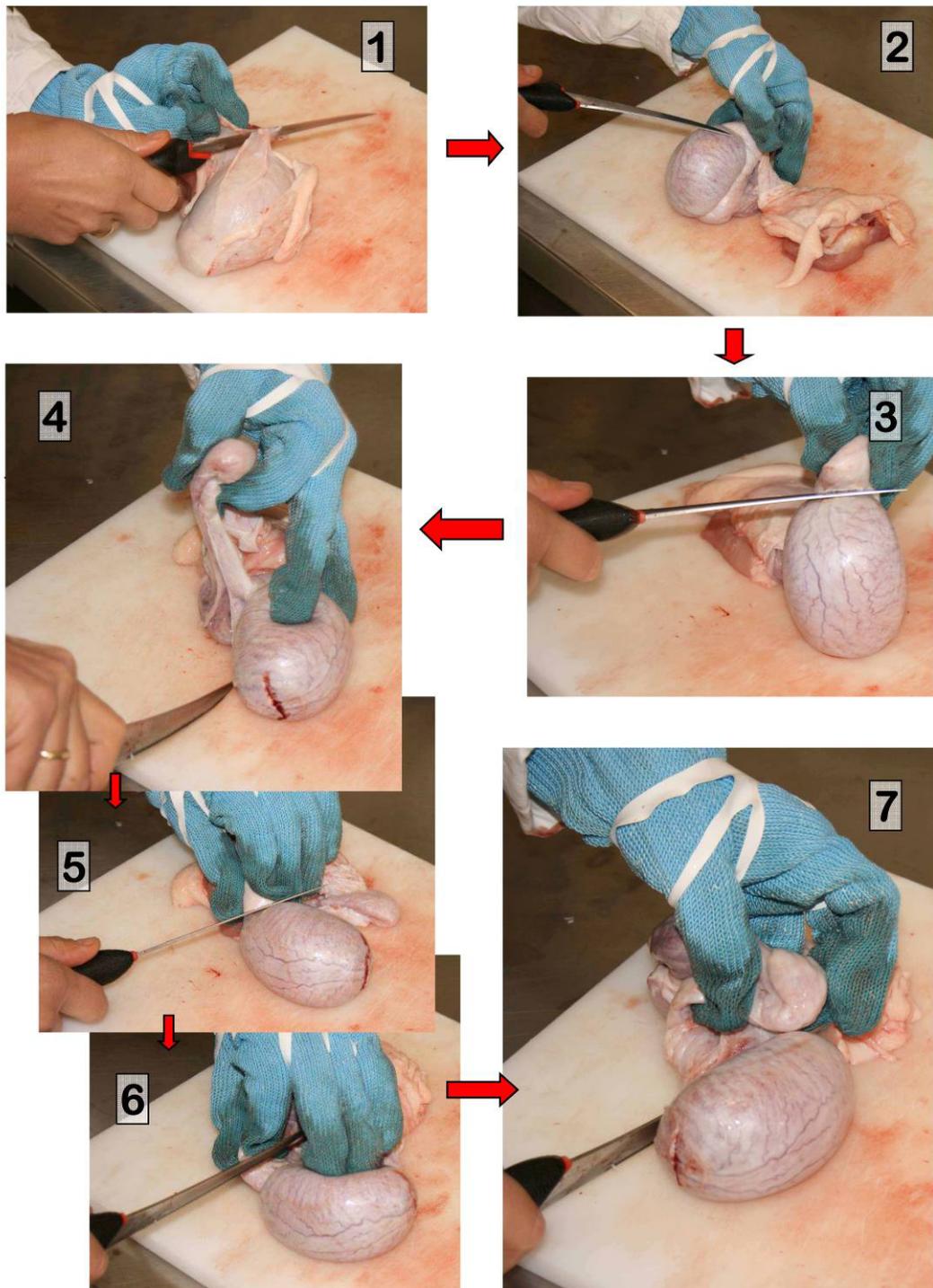


Abb. A1: Präparation der Hoden

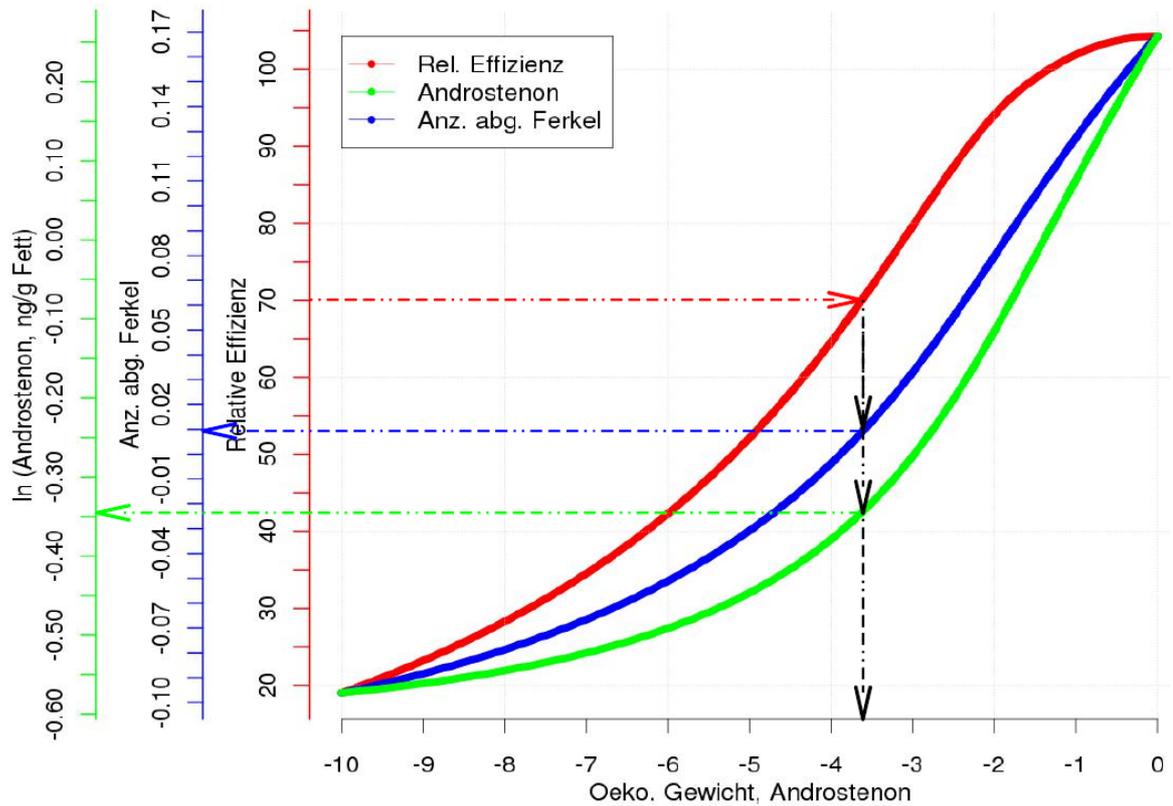


Abb. A2: Graphische Ableitung zur Bestimmung der 70 % relativer Effizienz und der dazugehörigen Selektionserfolge für den Ebergeruch und eines der Fruchtbarkeitsmerkmale. (Vaterlinie, "Labor", unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = |0,3|)

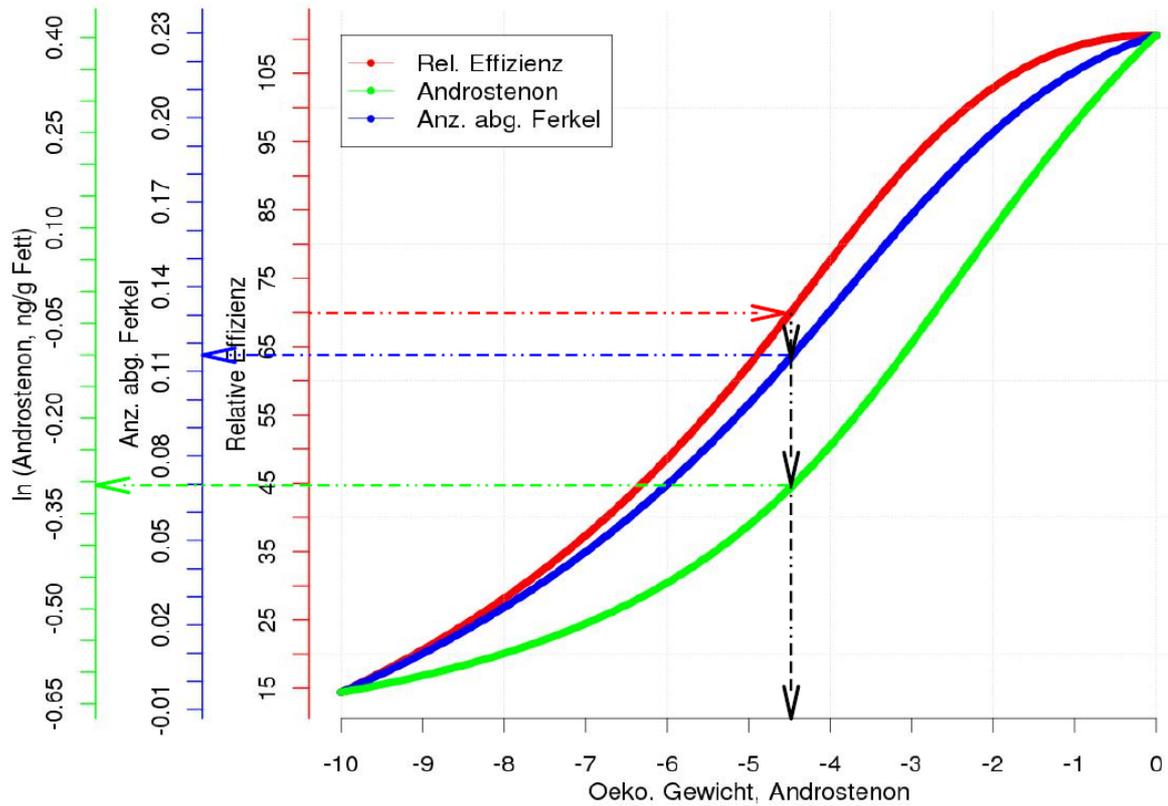


Abb. A3: Graphische Ableitung zur Bestimmung der 70 % relativer Effizienz und der dazugehörigen Selektionserfolge für den Ebergeruch und eines der Fruchtbarkeitsmerkmale. (Mutterlinie, "Labor", unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = |0,2)

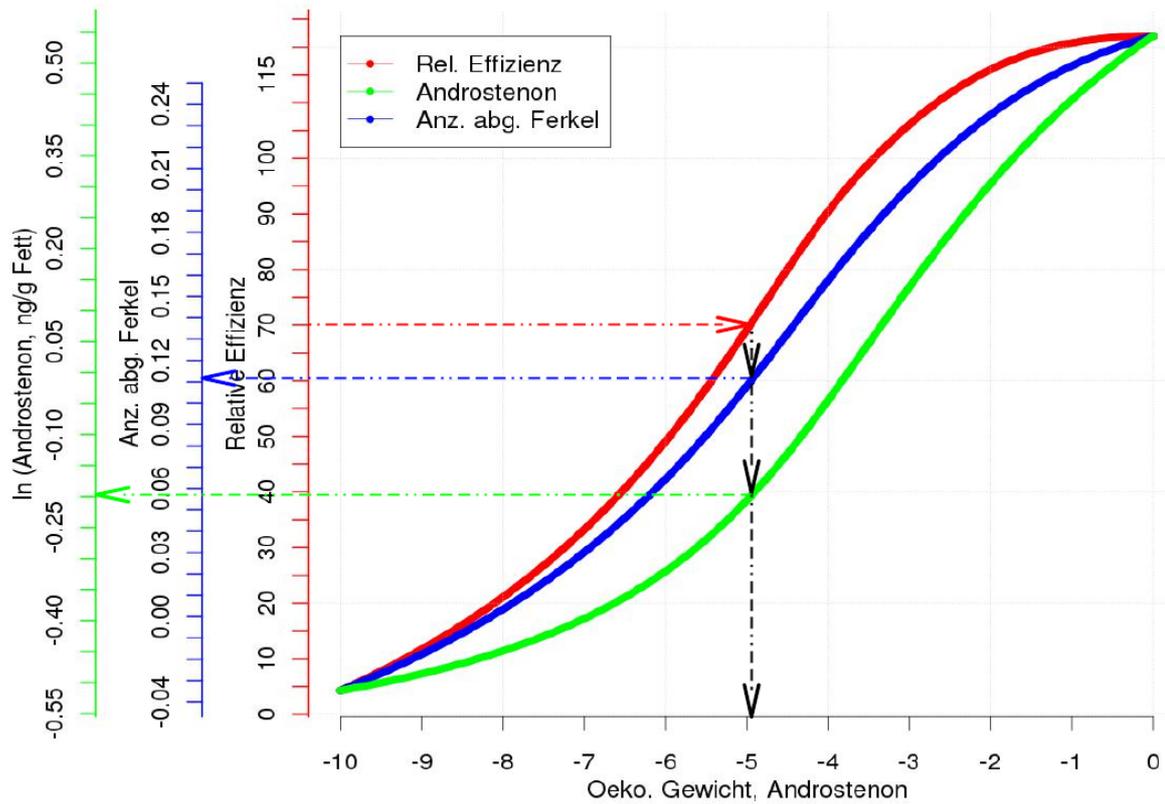


Abb. A4: Graphische Ableitung zur Bestimmung der 70 % relativer Effizienz und der dazugehörigen Selektionserfolge für den Ebergeruch und eines der Fruchtbarkeitsmerkmale. (Mutterlinie, "Labor", unerwünschte r_g zw. And. und Fruchtbarkeit = |0,3|)

Tab. A1: Rassenspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten vom dritten Durchgang in LPA III

Merkmal		Duroc × Kreuzungssau (N = 41)	Piétrain × Kreuzungssau (N = 65)	
		LSQ ± SE	LSQ ± SE	
Fleischanteil Bonn	%	58,8 ± 0,3	61,8 ± 0,2	***
Fleischanteil Bauch	%	59,2 ± 0,4	62,2 ± 0,3	***
Ausschlachtung	%	76,3 ± 0,2	78,1 ± 0,1	***
Schlachtkörperlänge	cm	101 ± 0,4	101 ± 0,3	ns
Fleisch : Fett	1:	0,32 ± 0,01	0,24 ± 0,01	***
Fettfläche	cm ²	14,2 ± 0,3	12,8 ± 0,3	***
Fleischfläche	cm ²	44,2 ± 0,7	52,7 ± 0,5	***
Rückenspeckdicke	cm	1,8 ± 0,0	1,7 ± 0,0	*
Speck über Rückenspeck	cm	1,0 ± 0,0	0,8 ± 0,0	***
Seitenspeckdicke	cm	2,4 ± 0,1	2,1 ± 0,1	***
Androstenon	ng/g Fett	1003 ± 104	337 ± 78	***
Androstenon (ln)		6,6 ± 0,1	5,5 ± 0,1	***
Skatol	ng/g Fett	213 ± 40	244 ± 30	ns
Skatol (ln)		5,0 ± 0,1	5,2 ± 0,1	ns
Indol	ng/g Fett	62 ± 10	60 ± 7	ns
Indol (ln)		4,0 ± 0,1	3,8 ± 0,1	ns
Hodenbreite	cm	69,1 ± 1,0	67,2 ± 0,8	ns
Hodengewicht	cm	269,4 ± 9,8	243,1 ± 7,4	ns
Hodenlänge	cm	114,1 ± 1,7	106,3 ± 1,3	***
Tageszunahme	g	1008 ± 13,2	829 ± 10,4	***
Futtermverwertung	kg	2,11 ± 0,02	2,25 ± 0,02	***
Intramuskulärer Fettgehalt	%	1,64 ± 0,07	0,90 ± 0,06	***
pH ₁ , Kotelett		6,34 ± 0,03	6,18 ± 0,03	***
LF ₂₄ , Kotelett		3,6 ± 0,3	4,7 ± 0,2	***
pH ₂₄ , Schinken		5,78 ± 0,02	5,67 ± 0,02	***

***: $p < 0,01$; **: $p < 0,025$; *: $p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

Tab. A2: Haltungsformspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten vom zweiten Durchgang in LPA IV

Merkmal	Einzelhaltung (N = 99)		Gruppenhaltung (N = 85)	
	LSQ	± SE	LSQ	± SE
Fleischanteil, Bonn	%	59,7 ± 0,2	61,0 ± 0,2	***
Fleischanteil, Bauch	%	59,3 ± 0,2	61,0 ± 0,3	***
Ausschlachtung	%	77,9 ± 0,1	77,7 ± 0,2	ns
Schlachtkörperlänge	cm	102 ± 0,3	101 ± 0,3	*
Fleisch : Fett	1:	0,31 ± 0,01	0,27 ± 0,01	***
Fettfläche	cm ²	16,0 ± 0,2	14,6 ± 0,2	***
Fleischfläche	cm ²	51,2 ± 0,4	54,6 ± 0,4	***
Rückenspeckdicke	cm	1,9 ± 0,0	1,9 ± 0,0	ns
Speck über Rückenspeck	cm	1,1 ± 0,0	1,0 ± 0,0	***
Seitenspeckdicke	cm	2,4 ± 0,1	2,2 ± 0,1	*
Androstenon	ng/g Fett	847 ± 85	625 ± 92	ns
Androstenon (ln)		6,4 ± 0,1	5,9 ± 0,1	***
Skatol	ng/g Fett	219 ± 21	96 ± 23	***
Skatol (ln)		4,9 ± 0,1	4,3 ± 0,1	***
Indol	ng/g Fett	87 ± 11	60 ± 12	ns
Indol (ln)		4,0 ± 0,1	3,8 ± 0,1	ns
Hodenbreite	cm	57,2 ± 1,7	57,1 ± 1,8	ns
Hodengewicht	cm	207,2 ± 7,0	196,6 ± 7,6	ns
Hodenlänge	cm	90,2 ± 2,7	93,4 ± 2,9	ns
Tageszunahme	g	952 ± 8,2	868 ± 8,8	***
Futtermverwertung	kg	2,24 ± 0,02	2,26 ± 0,02	ns
Intramuskulärer Fettgehalt	%	1,22 ± 0,04	1,10 ± 0,04	**
pH ₁ , Kotelett		6,65 ± 0,03	6,71 ± 0,04	ns
LF ₂₄ , Kotelett		3,7 ± 0,1	2,7 ± 0,1	***
pH ₂₄ , Schinken		5,46 ± 0,02	5,52 ± 0,02	ns

***: $p < 0,01$; **: $p < 0,025$; *: $p < 0,05$; ns: $p > 0,05$

Tab. A3: Stationsspezifische (LPA) LSQ-Mittelwerte, unterschieden zwischen Gruppen- (G) und Einzelhaltung (E), basierend auf den Daten aller Eber (N = 1010) (Teil 1)

Merkmal	Station I		Station II		Station III		Station IV		Station V		
	G (N = 160)		G (N = 172)		G (N = 204)		E (N = 199)		E (N = 190)		
	LSQ* ± SE		LSQ ± SE		LSQ ± SE		LSQ ± SE		LSQ ± SE		
Fa, Bonn %	64,2 ± 0,2 ^a		62,8 ± 0,2 ^b		62,1 ± 0,1 ^c		60,0 ± 0,1 ^e		61,3 ± 0,2 ^d		58,2 ± 0,1 ^f
Fa, Bauch %	63,3 ± 0,2 ^a		62,1 ± 0,2 ^b		62,3 ± 0,2 ^b		59,3 ± 0,2 ^d		61,0 ± 0,3 ^c		57,0 ± 0,2 ^e
Aussla %	80,6 ± 0,1 ^a		80,7 ± 0,1 ^a		78,8 ± 0,1 ^b		78,2 ± 0,1 ^c		78,0 ± 0,2 ^{cd}		77,4 ± 0,1 ^d
Länge cm	102 ± 0 ^a		102 ± 0 ^a		101 ± 0 ^a		102 ± 0 ^a		101 ± 0 ^a		102 ± 0 ^a
Ffv 1:	0,22 ± 0,00 ^e		0,24 ± 0,00 ^d		0,24 ± 0,00 ^d		0,31 ± 0,00 ^b		0,26 ± 0,01 ^c		0,36 ± 0,00 ^a
Ffl cm ²	12,3 ± 0,2 ^e		13,1 ± 0,2 ^d		12,8 ± 0,2 ^{de}		15,9 ± 0,2 ^b		14,5 ± 0,3 ^c		17,0 ± 0,2 ^a
Flfl cm ²	56,3 ± 0,3 ^a		55,8 ± 0,3 ^a		53,6 ± 0,3 ^b		51,9 ± 0,3 ^c		55,2 ± 0,6 ^{ab}		48,0 ± 0,3 ^d
Rsd cm	1,3 ± 0,0 ^e		1,6 ± 0,0 ^d		1,7 ± 0,0 ^c		1,8 ± 0,0 ^b		1,8 ± 0,0 ^{ab}		1,9 ± 0,0 ^a
Sdrm cm	0,6 ± 0,0 ^e		0,8 ± 0,0 ^d		0,8 ± 0,0 ^d		1,1 ± 0,0 ^b		1,0 ± 0,0 ^c		1,2 ± 0,0 ^a
Ssd cm	1,9 ± 0,0 ^d		2,2 ± 0,0 ^c		2,1 ± 0,0 ^d		2,5 ± 0,0 ^b		2,3 ± 0,1 ^{bc}		3,1 ± 0,0 ^a
Tgz g	844 ± 7 ^d		862 ± 7 ^{cd}		857 ± 6 ^{cd}		970 ± 6 ^a		887 ± 11 ^c		924 ± 6 ^b
Fvw kg	2,27 ± 0,01 ^{ab}		2,20 ± 0,01 ^c		2,23 ± 0,01 ^{bc}		2,27 ± 0,01 ^{ab}		2,29 ± 0,02 ^{ab}		2,29 ± 0,01 ^a

* LSQ-Mittelwert mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Linie sind signifikant verschieden ($p < 0,05$)

Tab. A4: Stationsspezifische (LPA) LSQ-Mittelwerte, unterschieden zwischen Gruppen- (G) und Einzelhaltung (E), basierend auf den Daten aller Eber (N = 1010) (Teil 2)

Merkmal	Station I	Station II	Station III	Station IV		Station V
	G (N = 160)	G (N = 172)	G (N = 204)	E (N = 199)	G (N = 85)	E (N = 190)
	LSQ* \pm SE	LSQ \pm SE	LSQ \pm SE	LSQ \pm SE	LSQ \pm SE	LSQ \pm SE
Imf %	1,05 \pm 0,03 ^c	1,16 \pm 0,03 ^b	0,81 \pm 0,02 ^d	1,24 \pm 0,02 ^b	1,12 \pm 0,04 ^{bc}	1,51 \pm 0,02 ^a
pH ₁ , Kotelett	6,26 \pm 0,02 ^c	6,42 \pm 0,02 ^b	6,13 \pm 0,02 ^d	6,66 \pm 0,02 ^a	6,64 \pm 0,03 ^a	6,37 \pm 0,02 ^b
LF ₂₄ , Kotelett	5,3 \pm 0,1 ^a	3,7 \pm 0,1 ^{bc}	5,1 \pm 0,1 ^a	3,6 \pm 0,1 ^{bc}	3,0 \pm 0,2 ^c	4,1 \pm 0,1 ^b
pH ₂₄ , Schinken	5,51 \pm 0,01 ^c	5,66 \pm 0,01 ^a	5,61 \pm 0,01 ^b	5,54 \pm 0,01 ^c	5,54 \pm 0,02 ^c	5,55 \pm 0,01 ^c
And ng/g Fett	301 \pm 56 ^c	377 \pm 54 ^c	404 \pm 48 ^c	880 \pm 48 ^b	826 \pm 85 ^b	1115 \pm 48 ^a
And (ln)	5,5 \pm 0,1 ^c	5,6 \pm 0,1 ^c	5,6 \pm 0,1 ^c	6,4 \pm 0,1 ^{ab}	6,1 \pm 0,1 ^b	6,7 \pm 0,1 ^a
Ska ng/g Fett	134 \pm 15 ^{bc}	108 \pm 14 ^c	219 \pm 13 ^{ab}	239 \pm 13 ^a	131 \pm 23 ^{bc}	174 \pm 13 ^b
Ska (ln)	4,6 \pm 0,1 ^{bc}	4,4 \pm 0,1 ^c	5,1 \pm 0,1 ^a	5,1 \pm 0,1 ^a	4,5 \pm 0,1 ^{bc}	4,7 \pm 0,1 ^b
Ind ng/g Fett	30 \pm 7 ^c	38 \pm 6 ^{bc}	56 \pm 6 ^b	85 \pm 6 ^a	73 \pm 10 ^{ab}	88 \pm 6 ^a
Ind (ln)	3,3 \pm 0,1 ^c	3,5 \pm 0,1 ^{bc}	3,7 \pm 0,1 ^b	4,0 \pm 0,1 ^a	4,0 \pm 0,1 ^a	4,0 \pm 0,1 ^a
Hodenbreite cm	63,2 \pm 0,8 ^{bc}	63,9 \pm 0,8 ^b	68,2 \pm 0,7 ^a	60,3 \pm 0,7 ^c	60,2 \pm 1,2 ^{bc}	66,4 \pm 0,7 ^{ab}
Hodengewicht cm	211,0 \pm 4,8 ^b	223,7 \pm 4,6 ^b	251,4 \pm 4,1 ^a	223,4 \pm 4,2 ^b	213,3 \pm 7,3 ^b	260,0 \pm 4,3 ^a
Hodenlänge cm	101,2 \pm 1,3 ^b	104,8 \pm 1,2 ^{ab}	105,9 \pm 1,1 ^{ab}	94,9 \pm 1,1 ^c	97,4 \pm 2,0 ^{bc}	107,5 \pm 1,2 ^a

* LSQ-Mittelwert mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Linie sind signifikant verschieden ($p < 0,05$)

Tab. A5: Geschlechtsspezifische LSQ-Mittelwerte basierend auf den Daten der LPA III

Merkmal	Sauen (N = 106)			Kastrate (N = 107)			Eber (N = 204)			
	LSQ*	±	SE	LSQ	±	SE	LSQ	±	SE	
Fleischanteil, Bonn	%	61,8	± 0,2	a	58,5	± 0,2	b	62,1	± 0,1	a
Fleischanteil, Bauch	%	61,4	± 0,2	b	57,6	± 0,2	c	62,4	± 0,2	a
Ausschlachtung	%	80,4	± 0,1	a	79,2	± 0,1	b	78,8	± 0,1	c
Schlachtkörperlänge	cm	101	± 0,2	a	100	± 0,2	b	101	± 0,2	a
Fleisch : Fett	1:	0,25	± 0,01	b	0,33	± 0,01	a	0,24	± 0,00	b
Fettfläche	cm ²	14,8	± 0,2	b	17,8	± 0,2	a	12,6	± 0,2	c
Fleischfläche	cm ²	60,0	± 0,4	a	54,3	± 0,4	b	53,1	± 0,3	b
Rückenspeckdicke	cm	2,0	± 0,0	b	2,3	± 0,0	a	1,7	± 0,0	c
Speck über Rückenspeck	cm	0,9	± 0,0	b	1,2	± 0,0	a	0,8	± 0,0	c
Seitenspeckdicke	cm	2,2	± 0,0	b	2,8	± 0,0	a	2,0	± 0,0	c
Tageszunahme	g	847	± 6,8	b	904	± 6,8	a	857	± 4,9	b
Futterverwertung	kg	2,40	± 0,02	b	2,55	± 0,02	a	2,23	± 0,01	c
Imf	%	0,94	± 0,03	b	1,24	± 0,03	a	0,81	± 0,02	c
pH ₁ , Kotelett		6,08	± 0,02	a	6,04	± 0,02	a	6,10	± 0,02	a
LF ₂₄ , Kotelett		5,5	± 0,2	a	5,9	± 0,2	a	5,5	± 0,2	a
pH ₂₄ , Schinken		5,62	± 0,01	a	5,60	± 0,01	ab	5,58	± 0,01	b

* LSQ-Mittelwert mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Linie sind signifikant verschieden ($p < 0,05$)

Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Prof. Dr. Karl Schellander für die Überlassung des Themas der vorliegenden Dissertation, sowie Prof. Dr. Brigitte Peterson für die Übernahme des zweiten Gutachters.

Besonders will ich mich bei Dr. Ernst Tholen, meinem Doktorvater bedanken, der mich bereits während meiner Diplomarbeit unterstützt hat. Er hat mich dazu motiviert, mich dem Abenteuer Promotion zu stellen und mich zu Höchstleistungen getrieben, ich sage nur „Mach hin“. Er stand mir stets mit Rat und Tat zur Seite, sei es bei statistischen, technischen oder rhetorischen Fragestellungen. Aber auch für die persönlichen Gespräche danke ich ihm sehr.

Eine solche Arbeit ist ohne die entsprechende EDV nicht möglich. Hierzu stand mir das Multitalent und lebende Lexikon Peter Müller stets zur Seite. Ihm danke ich aber auch für die Bändigung der Proben- und Datenmenge sowie der Hilfestellung bei laboranalytischen Fragen.

Des Weiteren bedanke ich mich bei ...

... Prof. Dr. Peter Boeker und Dr. Torsten Haas vom Institut für Landtechnik der Universität Bonn für die Diskussionen rund um das Thema der elektronischen Nase.

... Prof. Dr. Matthias Wüst und Dr. Jochen Fischer vom Institut für Ernährungs- und Lebensmittelwissenschaften der Universität Bonn für das Näherbringen der Bioanalytik.

... Dr. Daniel Mörlein und Lisa Meier-Dinkel vom Department für Nutztierwissenschaften der Universität Göttingen, die mir durch fachliche Diskussionen geholfen haben, das Fachgebiet der Humansensorik im Bezug auf den Ebergeruch besser zu verstehen.

... Dr. Mark Bücking und Jörg Bruckert vom IME Fraunhofer in Schmallenberg für die gute Organisation und schnelle und kompetente Analyse unserer Proben auf deren Gehalte an Ebergeruchsstoffen.

... allen beteiligten Mitarbeitern der Leistungsprüfstationen für die tolle Zusammenarbeit und den reibungslosen Ablauf des praktischen Versuchs. Hierbei will ich besonders Dr. Peter Grün, Dr. Jörg Heinkel und Barbara Mitschker-Heinkel der LSZ Boxberg, Dr. Johann-Peter Lindner, Edgar Littmann, Alfred Fuchs, Georg Fleischmann, Dirk Reinhardt, Heinz Then und Dr. Jörg Dodenhoff der Lfl Bayern, Dr. Friedhelm Adam, Josef Arens,

Ludger Bütfering und Christiane Norda der Landwirtschaftskammer NRW sowie Dr. Heinz Jüngst, Heiko Goertz und Ludgar Buschen des Versuchsguts Frankenforst danken.

... den beteiligten Mitarbeitern der Besamungsstationen und Zuchtverbände. Hierbei besonders Jörg Sauter des SZV, Dr. Johannes Aumann des BVN und Dr. Meike Friedrichs der GFS.

... Prof. Dr. Christian Looft vom Institut für Tierwissenschaften der Universität Bonn fürs Korrekturlesen meiner Arbeit, die konstruktiven Diskussionen und die Ratschläge, die er mir gegeben hat, um meine Vorträge zu verbessern.

... Bianca Peters und Ulrike Schroeter, die mir immer bei bürokratischen Angelegenheiten weitergeholfen haben.

... Helga Brodeßer, Nadine Leyer, Birgit Koch-Fabritius, Jessy Gonyer und den Azubis, ohne die die Aufbereitung und Lagerung der Proben nicht machbar gewesen wäre.

... Stephan Knauf, für die schnelle und kompetente Bearbeitung jedes meiner technischen und handwerklichen Anliegen.

... allen Doktoranden und Post-Doktoranden aus dem Institut für Tierwissenschaften der Universität Bonn, speziell Heiko Buschbell, Anke Brings, Felix Austermann, Christiane Neuhoff, Maren Pröll, Dr. Christine Große-Brinkhaus und meiner Büroschwester Sarah Bergfelder für die tolle Zeit zusammen und eure Hilfe bei Fragen fachlicher, technischer oder rhetorischer Natur. Den Kollegen Ralph Schemmer, Dr. Katrin Gerlach, Frederike Hippenstiel, Christian Böttger, Dr. Eva Findeisen, Dr. Christian Cox, Dr. Patrick Steuer, Anna Rauen und Isabel Gussek danke ich für die sowohl ernsthaften als auch lustigen Gespräche und das manchmal rettende Feierabendbier.

... all meinen Freunden, die auf die eine oder andere Art zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Zuletzt gilt mein besonderer Dank meiner Familie, sowohl dem luxemburgischen Teil als auch dem Teil, welcher in Bretten wohnhaft ist. Bei meinen Eltern will ich mich einfach für Alles bedanken, was sie mir bis jetzt in meinem Leben ermöglicht haben. Meiner Schwester Lynn, meinem Schwager Tom, meinem Neffen Finn, der Familie Schmitz und meinem Großvater, bei denen ich meine Batterien wiederaufladen konnte, um mich erneut frisch motiviert in die Arbeit stürzen zu können, danke ich dafür.

Auch dem breiteren Teil meiner Familie danke ich sehr, speziell Axel, Heidi, Lena, Hugo, Margot, Hans und Oma Anneliese, die dafür gesorgt haben, dass ich den Kopf wieder frei bekommen habe. Bei Hans will ich mich zusätzlich bedanken, dass er seine kostbare Zeit zum Korrekturlesen meiner Arbeit geopfert hat.

Und last but not least danke ich meiner Freundin Hanna, die den elementarsten Baustein in meinem Leben darstellt. Dank für alles Vergangene und das was noch kommen mag.

PUBLIKATIONEN, ANGEFERTIGTE PRÄSENTATIONEN UND VORTRÄGE

- MEIER-DINKEL, L., A. R. SHARIFI, **L. FRIEDEN**, E. THOLEN, J. FISCHER, M. WICKE und D. MÖRLEIN (2013): Consumer acceptance of fermented sausages made from boars is not distracted by respective information. *Meat Science* 94: 468–473. (Publikation)
- MEIER-DINKEL, L., A. R. SHARIFI, E. THOLEN, **L. FRIEDEN**, M. BÜCKING, M. WICKE und D. MÖRLEIN (2013): Sensory evaluation of boar loins: Trained assessors' olfactory acuity affects the perception of boar taint compounds. *Meat Science* 94: 19-26. (Publikation)
- GUANAWAN, A., S. SAHADEVAN, C. NEUHOFF, C. GROBE-BRINKHAUS, A. GAD, **L. FRIEDEN**, D. TESFAYE, E. THOLEN, C. LOOFT, M. J. UDDIN, K. SCHELLANDER und M. U. CINAR (2013): RNA Deep Sequencing Reveals Novel Candidate Genes and Polymorphisms in Boar Testis and Liver Tissues with Divergent Androstenone Levels. *PLoS ONE* 8(5) (Publikation)
- LOOFT, C., D. MÖRLEIN, **L. FRIEDEN** und E. THOLEN (2012) Wege zur Selektion von Ebergeruch. *DGS - Das Magazin für Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion* 44: 81-83. (Publikation)
- THOLEN, E., **L. FRIEDEN**, C. LOOFT, D. MÖRLEIN und P. BOEKER (2012) Ebergeruch: Zwei Projekte sollen Licht ins Dunkel bringen. *GFS Aktuell* 11: 40-41. (Publikation)
- FRIEDEN, L.**, C. NEUHOFF, C. GROBE-BRINKHAUS, M. U. CINAR, K. SCHELLANDER, C. LOOFT und E. THOLEN (2012) Züchterische Möglichkeiten zur Verminderung der Ebergeruchsproblematik bei Schlachtschweinen. *Züchtungskunde* 84 (5): 394 – 411. (Publikation)
- MEIER-DINKEL, L., J. TRAUTMANN, **L. FRIEDEN**, E. THOLEN, C. KNORR, A. R. SHARIFI, M. BÜCKING, M. WICKE und D. MÖRLEIN (2013): Consumer perception of boar meat as affected by labelling information, malodorous compounds and sensitivity to androstenone. *Meat Science* 93: 248-256. (Publikation)
- THOLEN, E. und **L. FRIEDEN** (2011): Breeding for reduced boar taint in Pietrain sired crossbred males in Germany. International conference “Boars heading for 2018”, 1./2.12.2011, Amsterdam (The Netherlands) (Präsentation)
- FRIEDEN, L.** und E. THOLEN (2011): Ebermast: aktueller züchterischer Stand, Kreistierzuchtberatertagung, 4./5.10.2011, Haus Riswick, Kleve (Präsentation und Vortrag)
- THOLEN, E., **L. FRIEDEN**, D. MÖRLEIN, P. BOEKER und J. KOCH (2011): Schnüffler am Schlachtband. *Spiegel* 19: 128-129 (Publikation)
- FRIEDEN, L.** und E. THOLEN (2011): Züchterische Möglichkeiten zur Reduktion von "Ebergeruch" (EN-Z-EMA Projekt). *GFS Aktuell*: 58-59 (Publikation)
- FRIEDEN, L.** und E. THOLEN (2011): Zwei von drei Ebern stinken nicht. *SUS* 2: 52 (Publikation)
- FRIEDEN, L.**, D. MÖRLEIN, L. MEIER-DINKEL, P. BOEKER, T. HAAS und E. THOLEN (2011): Strategien zur Vermeidung von Ebergeruch in der deutschen Piétrainpopulation. Vortragstagung der DGfZ / GfT, 6./7.9.2011, Freising-Weihenstephan (Abstract, Präsentation und Vortrag)
- FRIEDEN, L.**, C. LOOFT und E. THOLEN (2011): Breeding for reduced boar taint. *Lohmann Information* 46: 21-27 (Publikation)

- THOLEN, E. und **L. FRIEDEN** (2010): Züchterische Möglichkeiten zur Vermeidung von Ebergeruch. 8. Schweine-Workshop "Neue Herausforderungen für die Schweinezucht", 23./24.2.2010, Uelzen (Publikation, Abstract und Präsentation)
- FRIEDEN, L.** und E. THOLEN (2010): Projekt Vermeidung von Ebergeruch durch züchterische Maßnahmen und neuartige messtechnische Erfassung an der Universität Bonn. Praxis-Workshop Alternativen zur betäubungslosen Ferkelkastration. 11.3.2010, Bonn (Abstract und Präsentation)
- THOLEN, E. und **L. FRIEDEN** (2010): Züchterische Möglichkeiten zur Reduktion des Ebergeruchs. 10. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 24.3.2010, Fulda (Abstract und Präsentation)
- THOLEN, E. und **L. FRIEDEN** (2010): Ebermast - Spezielle Anforderungen an Zucht, Fütterung und Management. Fachtagung: Aktuelle Fragen der Fütterungsberatung, Bayerische Arbeitsgemeinschaft Tierernährung e.V. 4./5.10.2010, Freising-Weihenstephan (Abstract und Präsentation)
- THOLEN, E. und **L. FRIEDEN** (2010): Herausforderung Jungebermast - Was kann die Züchtung beitragen? SUISAG-Züchertagung (www.suisag.ch), 10.11.2010, Sempach (Switzerland) (Abstract und Präsentation)
- THOLEN, E. und **L. FRIEDEN** (2010): Eber ohne Ebergeruch - Wie weit ist die Züchtung? Expertenworkshop Verzicht auf Ferkelkastration: Stand und Perspektiven, BMELV (www.bmelv.de), 11.11.2010, Berlin (Abstract und Präsentation)
- FRIEDEN, L.**, D. MÖRLEIN, L. MEIER-DINKEL, P. BOEKER und E. THOLEN (2010): Boar taint levels and performance data in Pietrain sired crossbred males in Germany. 61st Annual Meeting of the EAAP, 23.-27.8.2010, Heraklion, Crete (Greece) (Abstract und Poster)
- FRIEDEN, L.** und E. THOLEN (2009): Projekt „Vermeidung von Ebergeruch durch züchterische Maßnahmen und neuartige messtechnische Erfassung“ an der Universität Bonn, Praxis – Workshop „Alternativen zur betäubungslosen Ferkelkastration“, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 11.03.2009, Bonn (Präsentation und Vortrag)
- FRIEDEN, L.**, C. SCHULZE LANGENHORST, H. JÜNGST, F. J. STORK, M. FRIEDRICH, F. ADAM, U. BAULAIN, M. HENNING und E. THOLEN (2009): Beurteilung der Fleischbeschaffenheit an verschiedenen Messpositionen und Teilstücken beim Schwein, Vortragstagung der DGfZ / GfT, 16./17.9.2009, Gießen (Abstract, Präsentation und Vortrag)