

**Vergleichende Analyse zweier Endstufeneberlinien
unter besonderer Berücksichtigung des Geburtsgewichtes,
in der Erzeugung von Ferkeln und Mastschweinen**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. sc. agr.)
der Fakultät für Agrarwissenschaften
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von
Kathrin Erika Sabine Elbert
geboren am 10.05.1989 in Georgsmarienhütte

Göttingen, im Juli 2020

1. Gutachter: Prof. Dr. Jens Tetens
2. Gutachter: Prof. Dr. Ralf Waßmuth

Tag der mündlichen Prüfung: 23.09.2020

FÜR MEINE ELTERN UND JAN

„Der kommt am weitesten, der anfangs selbst nicht weiß wie weit er kommen werde, dafür aber jeden Umstand, den ihm die Zeit gewährt, nach festen Maßregeln gebraucht.“

Johann Gottfried von Herder

Veröffentlichungen

Diese Arbeit basiert auf folgenden Veröffentlichungen

Beträge in referierten Fachzeitschriften:

Elbert, K., Tetens, J., Waßmuth, R., 2018. Vitale Ferkel – der Einfluss der Wurfgröße – eine Übersichtsarbeit. *Züchtungsk.* 90, 364–378.

Elbert, K., Matthews, N., Wassmuth, R., Tetens, J., 2020. Effects of sire line, birth weight and sex on growth performance and carcass traits of crossbred pigs under standardized environmental conditions. *Arch. Anim. Breed.* 63, 367–376. <https://doi.org/10.5194/aab-63-367-2020>

Elbert, K., Matthews, N., Wassmuth, R., Tetens, J., 2021. Vitality in relation to litter size of crossbred pigs and the effect of the terminal sire line. *Anim. Prod. Sci.* <https://doi.org/10.1071/AN20424>

Inhaltsverzeichnis

Veröffentlichungen	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1 Allgemeine Einleitung	7
2 Bedeutung der Schweineproduktion	9
2.1 In Europa.....	9
2.2 In Deutschland	11
3 Einfluss von Genetik und Umwelt auf Vitalität, Verhalten und Leistung von Schweinen..	14
3.1 Einleitung	14
3.1.1 Pränatale Faktoren, Reproduktion und Wurfgröße.....	14
3.1.2 Postnatale Faktoren auf die Entwicklung von Saug- und Absetzferkeln	21
3.2 Vitale Ferkel – der Einfluss der Wurfgröße – eine Übersichtsarbeit	25
3.3 Diskussion	44
4 Einfluss der Endstufeneberlinie auf die Vitalität und Leistung der Nachkommen	51
4.1 Einleitung	51
4.1.1 Bedeutung aktueller Endstufeneberlinien in Deutschland.....	52
4.1.2 Merkmale der Endstufeneber und deren genetische Beziehung.....	53
4.2 Vitality in relation to litter size of crossbred pigs and the effect of the terminal sire line	59
4.3 Effects of sire line, birth weight and sex on growth performance and carcass traits of crossbred pigs under standardized environmental conditions.....	73
4.4 Diskussion	92
5 Allgemeine Diskussion	98
6 Zusammenfassung.....	102
7 Summary.....	105
8 Literaturverzeichnis	107
Danksagung	CXXXIX
Eidesstattliche Erklärung	CXLII

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4-1: Prozentuale Verteilung der in Deutschland aufgestellten Endstufeneber nach
Ausgangsrassen..... 53

Tabellenverzeichnis

Tab. 4-1: Zusammengefasste Heritabilitäten (h^2) ausgewählter Produktionsmerkmale in Piétrain-
und Duroc-Populationen..... 56

Abkürzungsverzeichnis

ADFI	average daily feed intake
ADG	average daily gain
ADG _{net}	average daily gain net
AGeW	Ausstallgewicht
agF	abgesetzte Ferkel
AgW	Absetzgewicht
AHDB	Agriculture and Horticulture Development Board
AI	artificial insemination
AMI	Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH
ASP	Afrikanische Schweinepest
Auto-FOM	Automatischer Fat-O-Meater
BCS	Body Condition Score
BE	belly weight
BH	boneless ham weight
BHZP	Bundeshybridzuchtprogramm GmbH
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BLM	belly lean meat
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
bpm	beats per minute
BRS	Bundesverband Rind und Schwein e.V.
BSH	boneless shoulder weight
BT	body temperature
BUS	Besamungsunion Schwein, Schweinezuchtverband Baden-Württemberg e.V.
BVN	Besamungsverein Neustadt a.d. Aisch e.V.
BW _{birth}	birth weight
BW _{final}	final body weight
BW _{initial}	Initial body weight
BW _Q	birth weight quartiles
CALM	Calmodulin
CP	crude protein
CV	Variationskoeffizient, variation coefficient
Cys	Cystin
DNA	Deoxyribonucleic acid
DüV-20	Düngeverordnung 2020
e.g.	for example
EGeW	Einstallgewicht
ESR1	Estrogen Receptor 1
EU	Europa
FCR	feed conversion ratio
FLI	Friedrich-Loeffler-Institut
FOM	Fat-O-Meater
FSH	Follikelstimulierendes Hormon
FT	backfat thickness
FuA	Futtermaufnahme

FVW	Futtermittelerwertung
G-BLUP	Genomic Best Linear Unbiased Prediction
GFS	Genossenschaft zur Förderung der Schweinehaltung eG
ggF	gesamt geborene Ferkel
GgW	Geburtsgewicht
GIMAP6	GTPase, IMAP family member 6
GnRH	Gonadotropin Releasing Hormon
h^2	Heritabilität
HCW	hot carcass weight
HDC	High-Density-Chips
HRFI	high residual feed intake
i.e.S.	im engeren Sinne
IE	Internationale Einheiten
IGF-1	Insulin like growth factor 1
IgG	Immunglobuline
IUGR	Intra Uterine Growth Restriction
LSQ-Mean	least squares mean
LD	loin depth
LDC	Low-Density-Chips
IgF	lebend geborene Ferkel
LH	Luteinisierendes Hormon
LM	lean meat
LRFI	low residual feed intake
LtgZ _{netto}	Netto-Lebenstagszunahmen
LWK	Landwirtschaftskammer
M / F	male / female
MDH2	Mitochondrial Malate Dehydrogenase 2
ME	metabolizable energy
Met	Methionin
MJ	Megajoule
n	number of observations
N	number of observations
NBA	number of born alive
NT5C1B	5'-Nucleotidase, Cytosolic 1B
NWPS	number of weaned pigs per sow
p.m.	post mortem
p.p.	post partum
pH _{45min}	pH-value 45 min post mortem
pH _{24h}	pH-value 24 h post mortem
PIC	Pig Improvement Company
r	Korrelationskoeffizient
R ²	Bestimmtheitsmaß
RAMP2	Receptor activity modifying protein 2
r _g	genetische Korrelation
r _p	phänotypische Korrelation
s.d.	standard deviation

SD	standard deviation
SE	standard error of the least squares mean
s.e.m.	standard error of the least squares mean
SG	Schlachtkörpergewicht
SNP	Single-Nucleotide-Polymorphism
SWE	Schweinebesamungsstation Weser-Ems e.V.
T	Körpertemperatur
tgF	tot geborene Ferkel
tgZ	tägliche Zunahmen
TNB	total number born
TierSchIV	Tierschutz-Schlachtverordnung
vgl.	vergleiche
W / M	weiblich / männlich
WADG	weaning average daily gain
WW	weaning weight

1 Allgemeine Einleitung

Die Schweineproduktion in Deutschland und Europa ist seit geraumer Zeit rückläufig. Neben der sinkenden Nachfrage nach Schweinefleisch (Statista, 2020a) sind der zunehmende politische sowie wirtschaftliche Druck treibende Kräfte dieser Entwicklung. Insbesondere die wirtschaftliche Situation entscheidet über den Fortbestand und die Weiterentwicklung der aktiven Betriebe. Hinzukommt, dass das Verbraucherinteresse an der Schweinefleischproduktion in den vergangenen Jahren stark zugenommen hat (Hortmann-Scholten, 2019a; Tölle, 2019). Kostenoptimierung und Tierwohl gilt es in Einklang zu bringen. Zur Reduktion der fixen Kosten sind die Wurfgröße, die Zahl abgesetzter Ferkel, die Futtermittelverwertung sowie die Umtriebe pro Jahr entscheidende Faktoren in dieser Branche. Gleichzeitig führen steigende Wurfgrößen zu sinkenden und heterogenen Geburtsgewichten (Marandu et al., 2015). Begleitet wird die Entwicklung dieser Ferkel von erhöhtem Konkurrenzdruck um eine ausreichende Kolostrumaufnahme, Wachstumsdepressionen und erhöhten Mortalitäten entlang der gesamten Produktionskette (Fix et al., 2010a). Das Wohlergehen und der Schutz der Tiere sind in diesem Zusammenhang von entscheidender Bedeutung.

Die Vitalität des einzelnen Ferkels nimmt dabei einen besonderen Stellenwert ein (Merks et al., 2012; Muns et al., 2013). Sie ist genetisch festgelegt, wird durch die Umwelt modifiziert und äußert sich in der Anpassungsfähigkeit (Becker et al., 1987) des Ferkels. Die Vitalität ist nicht direkt messbar, aber, wie in Studien bestätigt, durchaus über Hilfsmerkmale wie dem Geburtsgewicht (Panzardi et al., 2013), der Körpertemperatur nach der Geburt (Baxter et al., 2008; Boonraungrod et al., 2018) oder der Hautfarbe des Ferkels (Herpin et al., 1996; Schodl et al., 2019) quantifizierbar. Insbesondere zur weiteren Präzision der Merkmalerfassung und um möglichst direkt nach der Geburt Aussagen über die Vitalität zu treffen, entwickelten aktuelle Studien (Revermann et al., 2018; Schodl et al., 2019) einen APGAR-Score für Ferkel. Einige Zuchtorganisationen berücksichtigen bereits die Vitalität und Robustheit als Merkmalskomplex im Zuchtprogramm. Neben dem genetischen Aspekt ist bekannt, dass eine Vielzahl an Umweltfaktoren auf die Entwicklung des Ferkels einwirken.

In Zuchtprogrammen für Endstufeneber werden neben den Produktionsmerkmalen auch zunehmend funktionale Merkmale, wie Fruchtbarkeit, Robustheit und Vitalität, berücksichtigt. Während die Sauengenetik auf den Betrieben in der Regel über mehrere Jahre nicht gewechselt wird, gestaltet sich die Wahl der Endstufeneberlinie deutlich flexibler und ist durch das umfangreiche Angebot von Komplexität geprägt. Leistungsunterschiede der Kreuzungsnachkommen, die auf die eingesetzte Endstufeneberlinie zurückzuführen sind, wurden

in für die Mastphase in verschiedenen Studien (Cámara et al., 2016; De Cuyper et al., 2019; Gilleland et al., 2019) bestätigt. In Anbetracht der Herausforderungen durch die gestiegenen bzw. steigenden Wurfgrößen, der dadurch i.d.R. beeinträchtigten individuellen Ferkelvitalität und der Vielzahl an Umweltfaktoren ist es sinnvoll, eine integrierte Vergleichsanalyse von Endstufeneberlinien durchzuführen. Standardisierte Bedingungen von der Belegung der Sau, über die Geburt der Ferkel sowie die Mast bis hin zur Schlachtung sind dafür notwendige Voraussetzungen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zwei Endstufeneberlinien auf Grundlage der Leistung ihrer Kreuzungsnachkommen unter standardisierten Umweltbedingungen entlang der gesamten Produktionskette (Belegung bis Schlachtung) unter besonderer Berücksichtigung des Geburtsgewichtes zu vergleichen, um eine Empfehlung der einzusetzenden Endstufeneberlinie zu formulieren und diese für die Praxis zu nutzen. Dazu wird im ersten Teil dieser Arbeit (Einfluss von Genetik und Umwelt auf Vitalität, Verhalten und Leistung von Schweinen) eine Übersicht der Einflussfaktoren auf die Kreuzungsnachkommen gegeben und kontrovers vor dem Hintergrund der Ferkelvitalität und der steigenden Wurfgröße diskutiert. Der zweite Teil der Arbeit (Einfluss der Endstufeneberlinie auf die Vitalität und Leistung der Nachkommen) umfasst die vergleichende Analyse der Endstufeneberlinien in der Ferkelerzeugung sowie in der Schweinemast auf Basis eines standardisierten Praxisversuchs und beinhaltet eine übergreifende Diskussion, insbesondere vor dem Hintergrund der bereits genannten Faktoren.

2 Bedeutung der Schweineproduktion

2.1 In Europa

In den letzten drei Jahren (2017-2019) ist der Schweinebestand in der EU (Europäischen Union) um 1,7 %, auf 143 Mio. gesunken (Eurostat, 2020). Spanien, Deutschland, Frankreich, Dänemark, die Niederlande und Polen zählen zu den produktionsstärksten Mitgliedsstaaten, in denen rund 75 % der Schweine gehalten werden (Eurostat, 2020). Die übrigen EU-Staaten sind von untergeordneter Bedeutung. Hier waren im Jahr 2018 weniger als 1,5 Mio. Schweine je Land aufgestellt (Eurostat, 2020). Der Verzehr an Schweinefleisch ist in der EU seit Jahren nahezu stabil und betrug im Jahr 2019 durchschnittlich 32,3 kg pro Kopf (AMI, 2020).

In der Ferkelerzeugung ist die Zahl der in der EU-gehaltenen Zuchtsauen in den letzten zehn Jahren (2009-2019) um rund 16 %, auf gut 11 Mio. (Eurostat, 2020) Sauen gesunken. Bedingt durch die deutliche Produktionssteigerung in den Sauenbeständen, sind die Ferkelbestände (bis 20 kg) mit rund 40 Mio. und die Mastschweinebestände (20 kg bis >110 kg) mit knapp 92 Mio. weitgehend stabil (Eurostat, 2020). Im Gegensatz zu Spanien, wo im Jahr 2019 rund 5 % mehr Zuchtsauen als 2015 gehalten wurden, zeichnet sich eine deutliche Bestandsabstockung in den osteuropäischen Ländern ab (Eurostat, 2020). In Ungarn, Polen und Rumänien ist der Bestand an Zuchtsauen in den letzten fünf Jahren (2015-2019) um durchschnittlich 14 % gesunken (Eurostat, 2020). Ein Grund für den Bestandsrückgang ist der Ausbruch der Afrikanischen Schweinepest (ASP) (Hortmann-Scholten, 2019b). Hinzu kommen die im Jahr 2018 niedrigen Schlachtschweinepreise innerhalb der EU und die gestiegenen Futterkosten auf Grund von anhaltender Trockenheit (Hortmann-Scholten, 2019a). Gleichzeitig wirken die steigenden Produktionsauflagen aus Umwelt- und Tierschutzgründen produktionsdämpfend (Tölle, 2019). Das sinkende Angebot innerhalb der EU führte zu einem Anstieg der Erzeugerpreise um etwa 9 % im Jahr 2019 (AMI, 2019a). Hinzu kommt, die aktuelle Corona-Pandemie, die neben den Schweinefleischproduzenten auch die Konsumenten verunsichert (Hortmann-Scholten, 2020).

Trotz der deutlich gesunkenen und weiter abnehmenden Zahl an Zuchtsauen und damit der Grundlage für die Produktion von Schweinefleisch, sind die produzierten Mengen an Schweinefleisch nicht in gleichem Maße gesunken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die biologischen Leistungen kontinuierlich gesteigert werden konnten. Seit 2006 konnten die europäischen Ferkelerzeuger die Leistungen auf rund 14 lebend geborene Ferkel (IgF) steigern (+15 %) (AHDB, 2017, 2006). Führend sind hier die Dänen mit im Schnitt fast 17 IgF (Klaaborg et al., 2019). Damit zählt Dänemark zusammen mit Spanien, den Niederlanden, Deutschland und

Frankreich zu den Ländern mit den höchsten Ferkelzahlen (AHDB, 2017). In der Schweinemast ist eine ähnliche Leistungsentwicklung zu beobachten. Während die Masttagszunahmen im EU-Schnitt im Jahr 2006 bei knapp 740 g lagen, konnten sie inzwischen auf über 800 g (+81 g / +10 %) gesteigert werden (AHDB, 2017, 2006). Die leistungsstärksten Mastbestände verzeichnen Dänemark und Schweden mit durchschnittlichen Zunahmen von über 900 g / d (AHDB, 2017).

Auf Grund der verbesserten biologischen Leistungen konnte die Bestandsabstockung kompensiert werden, sodass der Selbstversorgungsgrad der EU seit dem Jahr 2016 um sieben Prozentpunkte gestiegen ist und derzeit bei 119 % liegt (BLE 2018; Hortmann-Scholten, 2019a; Statista, 2020b). Dänemark ist das Land mit der höchsten Überproduktion (662 %) (Statista, 2020b). Ebenfalls einen sehr hohen Selbstversorgungsgrad weisen die Niederlande (328 %) sowie Belgien und Irland (jeweils 200 %) auf (Statista, 2020b). Ebenso wird in Spanien, Deutschland, Österreich, Frankreich und Finnland mehr Schweinefleisch produziert als benötigt (Statista, 2020b).

Zum Thema Tierschutz / Tierwohl befragt, vertreten 94 % der Europäer die Meinung, dass das Wohlergehen von Nutztieren geschützt werden sollte (Europäische Kommission, 2016). Für eine Verbesserung des Tierwohls von Nutztieren plädieren 82 % der EU-Bürger, allerdings mit deutlicher Varianz zwischen den einzelnen Mitgliedsstaaten (Europäische Kommission, 2016). Während in Deutschland 61 % der Bürger es für wichtig erachten, das Wohlergehen der Tiere zu schützen, sind es in Polen 34 %, die diese Meinung teilen (Europäische Kommission, 2016). Sowohl auf europäischer als auch auf nationalen Ebenen haben politische Entscheidungsträger reagiert und Gesetze verabschiedet, die den Schutz von Nutztieren regeln (Veissier et al., 2008). Dennoch werden nicht alle Nutztierarten in den EU-Tierschutzvorschriften abgedeckt und die Regelungen sind auf einen Mindeststandard beschränkt (Vogeler, 2019; Ziron, 2018). Daraufhin erließen mehrere Mitgliedsstaaten zusätzliche nationale Vorschriften, worauf die Unterschiede hinsichtlich der Tierschutzvorschriften innerhalb der EU zurückzuführen sind (Vogeler, 2019; Ziron, 2018). Auf Grund der durch Tierschutz entstehenden Mehrkosten ist innerhalb der EU eine zunehmende Wettbewerbsverzerrung zu beobachten (Hortmann-Scholten, 2019a). Die Spannbreite der zuvor schon stark zwischen den einzelnen Ländern differierenden Produktionskosten hat zugenommen und wird aufgrund zusätzlicher Maßnahmen weiter zunehmen. So lagen z. B. im Jahr 2017 die Vollkosten in Deutschland bei 1,56 € / kg Schlachtkörpergewicht (SG), und damit 12 % über denen in Spanien mit 1,37 € / kg SG (AHDB, 2017).

Die ASP breitet sich Richtung Zentral- und Westeuropa aus und sorgt für eine schwer abschätzbare Marktentwicklung in Europa (Hortmann-Scholten, 2019b). Im Jahr 2019 wurden insgesamt 8.284 ASP Fälle gemeldet, wovon 77 % bei Wildschweinen auftraten (FLI, 2020). Bei den

Hausschweinebeständen wurde 2019 ein Anstieg vermeldet, so dass inzwischen fast ein Viertel der Ausbrüche Hausschweinbestände betreffen (FLI, 2020). Während in Polen überwiegend Wildschweine betroffen sind, ist in Rumänien und Bulgarien eine Durchseuchung großer Hausschweinpopulationen festzustellen (FLI, 2020, Hortmann-Scholten, 2019b). Das vermehrte Auftreten bei Hausschweinen ist in erster Linie auf unzureichende bzw. nicht vorhandene Biosicherheitsmaßnahmen in Kleinbetrieben oder Hinterhofhaltung zurückzuführen (Cwynar et al., 2019; Gogin et al., 2013).

2.2 In Deutschland

In Deutschland werden derzeit 26 Mio. Schweine gehalten, davon sind rund 45 % Mastschweine (Statistisches Bundesamt, 2020a). Der Mastschweinebestand ist seit dem Jahr 2016 um 4,4 % auf 11,7 Mio. gesunken (Statistisches Bundesamt, 2020a). Während die Zahl an geschlachteten Schweinen in Deutschland (inländisch u. ausländisch erzeugt) bis 2015 kontinuierlich anstieg und einen Höchstwert von 59 Mio. erreichte, ist sie seitdem auf 55 Mio. gesunken. Weiterhin stammen rund 93 % der geschlachteten Schweine aus deutschen Ställen (Statistisches Bundesamt, 2020b). Ähnliche Veränderungen sind im Bereich der Ferkelerzeugung zu verzeichnen. Während 2016 2 Mio. Sauen und 8 Mio. Ferkel in Deutschland gehalten wurden sind es 2019 mit knapp 1,7 Mio. rund 6 % weniger Sauen und mit 7,6 Mio. rund 4 % weniger Ferkel (Statistisches Bundesamt, 2020a). Gleichzeitig ist die Zahl schweinehaltender Betriebe (Zucht und Mast) in Deutschland in demselben Zeitraum um fast 14 % auf 46.300 Betriebe, deutlich stärker als die Tierbestände selbst gesunken (Statistisches Bundesamt, 2020c) und die Zahl an gehaltenen Schweinen pro Betrieb hat sich erhöht (Sørensen et al., 2006). Zudem sinkt in Deutschland die Nachfrage nach Schweinefleisch, während im Jahr 2016 gut 36 kg pro Kopf verzehrt wurden waren es im Jahr 2019 rund 2 kg pro Kopf weniger (Statista, 2020a). Die Corona-Pandemie schwächt den Inlandskonsum durch die Veränderung des Verbraucherverhaltens (weniger Absatz in der Gastronomie, Ausbleiben von Grillveranstaltungen). Des Weiteren führen die durch Corona ausgelösten Produktionsausfälle in deutschen Schlachtbetrieben zu zusätzlichem Druck und Unsicherheit bei den Schweinefleischproduzenten (Hortmann-Scholten, 2020).

In der Ferkelerzeugung ist die Wurfgröße seit 2010 um fast 20 % auf durchschnittlich 16 IgF / Sau / Wurf angestiegen (LWK Schleswig-Holstein, 2010, 2019). Diese Entwicklung ist zu einem großen Teil auf den Zuchtfortschritt in den Mutterlinien zurückzuführen. Zudem haben Verbesserungen im Management, wie dem Wurfausgleich, dem Einsatz natürlicher oder künstlicher Ammen sowie split suckling und split weaning dazu beigetragen (Baxter et al., 2013). Ebenso konnten die Zunahmen der Mastschweine um rund 100 g auf fast 900 g gesteigert werden (LWK Schleswig-

Holstein, 2010, 2019). Hier ist die Optimierung des Fütterungsmanagements zur Ausnutzung des genetischen Potentials der Mastschweine ein entscheidender Faktor (Okello et al., 2015).

Die steigenden biologischen Leistungen führten bis zum Jahr 2017 trotz anhaltender inländischer Bestandsabstockung zu einer kontinuierlichen Steigerung des Selbstversorgungsgrades (Hortmann-Scholten, 2019b; Statista, 2020c). Inzwischen spiegelt der moderate Rückgang im Selbstversorgungsgrad (-0,3 % 2019 ggü. 2017) den Rückgang der Schweineproduktion wider (Statista, 2020c). Deutschland bleibt Exporteur für Schweinefleisch, dabei zählen die Niederlande, Italien und China zu den größten Abnehmern (AMI, 2019b).

Auslöser und Beschleuniger des Strukturwandels sind die Verschärfungen in den Haltungsvorgaben (Anpassung bei der Gruppenhaltung von Sauen, Kastenstand-Urteil, Kastrationsverzicht, Verbot von Schwanzkupieren) sowie der steigende politische- und öffentliche Druck in Bezug auf mehr Tierwohl und Tierschutz (Hortmann-Scholten, 2019a; Tölle, 2019). Des Weiteren sind volatile Preise, genehmigungstechnische und bürokratische Hürden sowie zunehmende Planungsunsicherheit als Ursachen anzusehen (Hortmann-Scholten, 2019a; Tölle, 2019). Während bei den Ferkelerzeugern die Themen "Kupierverzicht", "Kastenstandhaltung" und "Ausstieg aus der betäubungslosen Kastration" im Vordergrund stehen, ist es bei den Mästern die novellierte Düngeverordnung (DüV-20) (LWK Nordrhein-Westfalen, 2020; Niggemeyer et al., 2019; Schnippe, 2019, 2018; van Asten et al., 2019; Werning, 2019). Gleichzeitig sind Themen wie der Umgang mit kranken Tieren sowie die Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit entlang der gesamten Produktionskette bei deutschen Landwirten präsent (Tölle, 2019). Die Konfliktsituation zwischen der Öffentlichkeit und dem Agrarsektor wird zudem durch einige Medien verschärft, indem sie die zeitgemäßen Tierhaltungssysteme kritisch beleuchten und die Diskussion auf die emotionale Ebene verschieben (Weible et al., 2016). Ebenso zeigen Ergebnisse von Henningsen et al. (2018), Latacz-Lohmann und Schreiner (2019) sowie Liljenstolpe (2008), dass Tierschutz ökonomisch betrachtet Mehrkosten verursacht, die nicht alleine vom Produzenten getragen werden können. Daher erfordert die Wettbewerbsfähigkeit inländischer Betriebe eine weitere Spezialisierung und Professionalisierung (Hortmann-Scholten, 2019a; Sørensen et al., 2006), wodurch ein zielgerichtetes Management und ökonomische Vorteile generiert werden können (de Roest et al., 2018; Rhodes, 1995).

Hinsichtlich der ASP, wurde in Deutschland bisher noch kein Fall nachgewiesen. Allerdings muss jederzeit mit einem Ausbruch gerechnet werden, der den deutschen Schweinemarkt nachhaltig belasten wird (Hortmann-Scholten, 2019b; Quaing, 2019). Die ASP erreichte 2018 mit China den weltweit größten Markt, sowohl in punkto Erzeugung, Import als auch Verzehr (Holtmann-

Scholten, 2019b). Infolgedessen und bedingt durch die Ausbreitung der ASP im asiatischen Raum stieg der Export innerhalb der ersten acht Monate im Jahr 2019 um 46 % im Vergleich zum Vorjahr (Quaing, 2019). Daraus resultieren die im Jahr 2019 deutlich gestiegenen Schweinefleischpreise von etwa 36 % je kg SG und eine Preiserhöhung um ca. 104 % bei Ferkeln mit einem Gewicht von 25 kg im Vergleich zum Jahr 2018 (LWK Niedersachsen, 2019).

3 Einfluss von Genetik und Umwelt auf Vitalität, Verhalten und Leistung von Schweinen

3.1 Einleitung

Die Wurfgröße und die Zahl abgesetzter Ferkel pro Sau und Jahr sind von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Gleichzeitig ist es das Ziel, vitale Ferkel abzusetzen, die zu frohwüchsigen Mastschweinen heranwachsen, die frühzeitig die Schlachtreife erreichen und gute Schlachtkörper liefern. Die Vitalität des einzelnen Ferkels ist dabei ein entscheidender Faktor (Merks et al., 2012; Muns et al., 2013). Sie ist genetisch festgelegt, wird durch Umweltfaktoren beeinflusst und äußert sich in der Anpassungsfähigkeit (Becker et al., 1987) des Ferkels. Die Genotypen der Elterntiere bestimmen den des Ferkels und wirken auf dieses bereits vor der Geburt ein. Studien bestätigen, dass Meishan-Populationen höhere Ovulationsraten (Miller et al., 1998) und eine gesteigerte Plazentaeffizienz (Wilson et al., 1999, 1998) vorweisen. Ebenso liegen bei diesen, die mit der Wurfgröße positiv assoziierten Biomarker in höherer Frequenz vor (Xinhong et al., 2018) als bei anderen Rassen. Gendefekte, wie z.B. die Reziproke Translokation (Rodríguez et al., 2010) oder das Auftreten von DNA-Fragmentationen (Sedó et al., 2017) wirken sich negativ auf die embryonale Entwicklung aus. Erhöhte Mortalitäten sowie ein vermehrtes Auftreten von Anomalien (Grafofer et al., 2019; Kociucka et al., 2014; Rodríguez et al., 2010) sind beschrieben. Gleichzeitig nehmen verschiedene Umweltfaktoren auf die Vitalität des Ferkels Einfluss. Heterogene (Plush et al., 2019) oder auch reduzierte Ferkelgeburtsgewichte in den Sommermonaten (Karthikeyan et al., 2020) sind bekannt.

Im folgenden Kapitel wird der Einfluss der Genetik und der Umwelt auf die Vitalität des Ferkels beschrieben. Vor dem Hintergrund der Herausforderung steigender Wurfgrößen (Zuchtfortschritt) und der damit in den Fokus rückenden individuellen Ferkelvitalität werden Vitalitätsparameter dargelegt. Der Zusammenhang der einzelnen Faktoren sowie die Auswirkungen auf die Entwicklung des Ferkels werden in diesem Kontext kontrovers diskutiert.

3.1.1 Pränatale Faktoren, Reproduktion und Wurfgröße

3.1.1.1 Einflussfaktoren des Besamungsebers

Ein Eber erreicht im Alter von sieben bis neun Monaten die Zuchtreife (Willam und Simianer, 2017). Unter Verwendung von phänotypischen Leistungsinformationen und molekulargenetischen Informationen erfolgt dessen Selektion (Kleve-Feld, 2014; Willam und Simianer, 2017). Neben den Produktionsmerkmalen (Marques et al., 2017; Robinson und Buhr, 2005) sind die Reproduktionsmerkmale wie Libido, Fundament, Spermaquantität und -qualität

des Ebers zu berücksichtigen (Knecht et al., 2017a; McPherson et al., 2014; Resende et al., 2019; Savić et al., 2017). Die Spermaqualität, die häufig mit dem Begriff Spermavitalität in Verbindung gebracht wird (Alegre et al., 2011; Sancho et al., 2004), ist dabei ein entscheidender Faktor. Kemp et al. (1989) und Tian et al. (2019) definieren diese anhand der Spermienmotilität. Hingegen nutzten Briz et al. (1995), Ducci et al. (2002), Kumar et al. (2017) und Pruneda et al. (2005) Aspekte der Spermienmembran. So gelten Spermien mit kräftigen, gradlinigen Bewegungen als vital (Kemp et al., 1989). Zudem ist die Spermienmotilität schwach positiv mit der Trächtigkeitsrate korreliert ($r=0,34$; $p<0,0029$) (Matabane et al., 2017) und nimmt einen signifikanten Einfluss auf die Wurfgröße ($p<0,01$) (McPherson et al., 2014). Steigende Konzentration an Plasmotropfen im Eberejakulat führen zu einer Reduzierung der Abferkelrate ($p<0,05$) (Lovercamp et al., 2007) und einer verminderten Wurfgröße ($p<0,05$) (Waberski et al., 1994). Des Weiteren beeinflusst die Morphologie der Spermien die Wurfgröße ($p<0,01$) (McPherson et al., 2014) und, in Kombination mit der Beschaffenheit des Chromatin der Spermazelle, auch die Abferkelrate ($p<0,05$) (Tsakmakidis et al., 2010). Auf Grund von fehlenden Reparaturmechanismen nach der Spermatogenese treten irreversible DNA-Fragmentationen auf (Myromslien et al., 2019). Diese führen zu negativen Auswirkungen auf die embryonale Entwicklung (Sedó et al., 2017) und die Wurfgröße (Myromslien et al., 2019; Peña et al., 2019a), die um bis zu 0,9 Ferkel pro Wurf reduziert sein kann (Boe-Hansen et al., 2008). Auf verminderte Trächtigkeitsraten deuten die Ergebnisse von Didion et al. (2009) und Evenson et al. (2008) hin, die eine negative Korrelation zwischen DNA-Fragmentationen und der Abferkelrate von $r = -0,55$ ($p<0,01$) schätzten.

Zusätzlich rücken die Merkmale Hodengröße (Jacyno et al., 2015; Resende et al., 2019) und Hodenbeschaffenheit (i.e.S. Varikozele, Krampfadern im Hoden) (Gruhot et al., 2020; Kleve-Feld et al., 2015) in Zusammenhang mit der Reproduktionsleistung des Ebers in den Fokus. Varikozelen wirken negativ auf die Integrität der Spermienmembran, führen zu einem erhöhten Anteil pathomorpher Spermien (Kleve-Feld et al., 2015) und zu einer geringeren Spermienkonzentration ($p<0,05$) (Gruhot et al., 2020). Ergebnisse von Jacyno et al. (2015) und Resende et al. (2019) deuten darauf hin, dass ein Zusammenhang zwischen Körpergewicht des Ebers, Hodengröße und der Spermienkonzentration besteht ($p<0,05$). So gehen Jacyno et al. (2015) von einem Anstieg der Spermienkonzentration mit steigender Hodengröße ($r=0,42$; $p\leq 0,01$), die mit einer stärkeren Spermienmotilität einhergeht ($r=0,40$; $p\leq 0,01$), aus. Sanglard et al. (2019) berichten von einem signifikanten Einfluss der Hodengröße auf die Wurfgröße ($p<0,05$).

Weiterhin wird die Reproduktionsleistung des Ebers durch Umweltfaktoren wie z.B. die Fütterung beeinflusst (Brinsko et al., 2005; Brown, 1994; Liu et al., 2017a; Murphy et al., 2017). Dabei empfiehlt Levis (1997) einen BCS (Body Condition Score) von drei für einen Besamungseber. In

einem Fütterungsversuch von Kemp et al. (1989) wurden drei verschiedene Fütterungsniveaus (niedrig, mittel, hoch) verglichen. Die Ergebnisse bestätigen, dass ab der achten Versuchswoche, die Spermazellenmenge bei der restriktiven Fütterung (niedrig, mittel) signifikant niedriger war ($p < 0,05$) (Kemp et al., 1989). Dieses ist bei den männlichen Tiere auf die reduzierte Sekretion von GnRH (Gonadotropin Releasing Hormon), LH (Luteinisierendes Hormon) und FSH (Follikelstimulierendes Hormon), die an der Spermatogenese beteiligt sind, zurückzuführen (Brown, 1994; Estienne und Haper, 2004; Loeffler und Gäbel, 2009). Gleichzeitig wird durch den LH-Spiegel die Sekretion von Testosteron und Estradiol gesteuert, die essentiell für die Libido des Ebers sind (Estienne und Haper, 2004). Weiterhin ist die Proteinversorgung des Ebers ein wichtiger Aspekt (Lopez Rodriguez et al., 2017; Wilson et al., 2004). Die Ergebnisse von Dong et al. (2016) bestätigen einen Anstieg der Spermienmotilität um durchschnittlich 5 % ($p < 0,05$) und einer Verbesserung der Integrität der Plasmamembran um 4,5 % ($p < 0,001$) durch die Erhöhung des Lysin-Gehalts (0,64 vs. 0,94 % Lys.). Ren et al. (2015) stellten fest, dass mittels einer Absenkung des Rohproteingehalts von 17 auf 13 % eine höhere Spermienmotilität und eine Reduktion pathomorpher Spermien erreicht wird ($p < 0,05$). Weiterhin wird angenommen, dass eine der Hauptursachen für Spermenschäden die Peroxidation der Spermienmembranlipide ist (Lopez Rodriguez et al., 2017), die durch eine Rationsergänzung mit Vitamin E und Selen vermieden werden kann (Horký et al., 2016a, 2016b; Kołodziej und Jacyno, 2005; Liu et al., 2017b; Marin-Guzman et al., 1997).

Saisonbedingte Unterschiede in der Libido, der Spermienquantität und -qualität sind vielfach beschrieben (Fraser et al., 2016; Gruhot et al., 2020; Petrocelli et al., 2015; Sancho et al., 2004; Savić und Petrović, 2015), ausgelöst durch die Veränderung der Tageslichtlänge im Frühjahr und Herbst (Knecht et al., 2013; Sancho et al., 2004) und dem Auftreten von Hitzestress im Sommer (Gruhot et al., 2020; Peña et al., 2017). Dabei sind oxidativer Stress (Koziorowska-Gilun et al., 2011; Peña et al., 2019b) und eine Überproduktion an Testosteron (Li et al., 2015; Minton et al., 1985) die Folge. Hier nennen Hansen, (2009) und Li et al. (2018) eine reduzierte Futteraufnahme, die zu einem hormonellen Ungleichgewicht führt.

Weiterhin sind die Unterschiede in der Fruchtbarkeit der Eber genetisch bedingt (Lunstra et al., 1997). Dabei ist der paternal genetische Effekt zu nennen, der ein Teil des indirekten genetischen Effekts ausmacht und durch den Eber auf das Ferkel einwirkt (Qiao et al., 2020; Steinheuer, 2001) (z.B. Sperma- und Embryovitalität, Reziproke Translokation). Zudem sind genetische Unterschiede in der hormonellen Ausstattung einzelner Rassen bekannt (Cassady et al., 2000; Xu et al., 2016). In einer Studie von Borg et al. (1993) wurden bei Meishan-Ebern acht-fach höhere FSH-Serum Konzentrationen im Vergleich zu Duroc-Ebern gemessen ($p < 0,001$). Oskam et al. (2010) stellten

fest, dass das an der Spermatogenese beteiligte Hormon Testosteron, bei Duroc-Eber im Gegensatz zu Landrasse-Ebern in knapp zweifach höhere Konzentrationen vorliegt. Xinhong et al. (2018) bestätigen, dass mit der Wurfgröße positiv assoziierte Biomarker, wie CALM (Calmodulin) und NT5C1B (5'-Nucleotidase, Cytosolic 1B) signifikant häufiger in Meishan-Sperma als im Sperma von Duroc-Ebern nachgewiesen werden konnten ($p < 0,05$). Eine positive Korrelation zwischen der Wurfgröße und der Frequenz von CALM ($r = 0,67$) bzw. MDH2 (Mitochondrial Malate Dehydrogenase 2) ($r = 0,64$) geben Kwon et al. (2015) für Landrasse-Eber an ($p < 0,01$). Ebenso deutet das Ergebnis von Kondracki et al. (2015) auf ein höheres Ejakulatvolumen bei Piétrain-Ebern im Vergleich zu Duroc-Ebern (227,7 vs. 146,9 ml; $p \leq 0,01$) hin. Schulze et al. (2014) stellten eine höhere Spermienmotilität (74,6 vs. 71,3 %; $p < 0,05$) sowie einen geringeren Anteil an morphologisch veränderten Spermien (23,2 vs. 31,9 %; $p < 0,05$) bei Piétrain-Ebern im Vergleich zu Duroc-Ebern fest. Die Heritabilitäten spermatologischer Parameter sind niedrig bis moderat und reichen dabei abhängig von Merkmal, Population und Schätzmethode von $h^2 = 0,01$ bis 0,58 (Marques et al., 2017; Smital et al., 2005; Wolf und Smital, 2009; Zhao et al., 2019). Lubritz et al. (1991) geben für Merkmale der Hodengröße (Länge, Breite, Volumen) mittlere Heritabilitäten von $h^2 = 0,33$ in einer Duroc-Population an und liegen damit deutlich unter denen von Sanglard et al. (2019), die für den Hodenumfang bei Landrasse und Yorkshire-Ebern $h^2 = 0,69$ bzw. für die Hodenbreite $h^2 = 0,66$ schätzen. Mittels der Einführung der genomischen Selektion konnten auch in diesen Merkmalen Zuchtfortschritte realisiert werden (Chen et al., 2011; Meuwissen et al., 2001). Im Vergleich zu diesen phänotypischen Merkmalen deuten die bereits angesprochenen Ergebnisse von Kwon et al. (2015) und Xinhong et al. (2018) darauf hin, dass mit Hilfe von Biomarkern zuverlässigere Aussagen über die Spermaqualität im Hinblick auf die Wurfgröße möglich sind. Grundlage der Erfassung sind molekularbiologische Methoden, wobei Biomarker messbare Parameter biologischer Prozesse sind (Strimbu und Tavel, 2010). Sie basieren auf der Charakterisierung von Proteinverbindungen, die an molekularbiologischen Prozessen der Eberfertilität beteiligt sind (Roca et al., 2020). Die Proteine stammen entweder aus dem Spermaplasma oder aus dem Spermium des Ebers (Roca et al., 2020). Des Weiteren ist eine gezielte Analyse von einzelnen Genen oder Chromosomen möglich (Willam und Simianer, 2017) und zur Charakterisierung der Eberfertilität sinnvoll (Wiedemann, 2018). Dabei werden Kandidatengene für die Eberfertilität durch quantitative Marker (quantitative trait loci, QTL) mittels molekulargenetischer Methoden lokalisiert und genutzt (Wiedemann, 2018). In einer Large White- und in einer Landrasse-Linie fanden Marques et al. (2018) signifikante Assoziationen verschiedener Kandidatengene zu morphologisch veränderter Spermien, Spermienmotilität sowie Spermienkonzentration. Zudem bestätigen Ergebnisse von van Son et al. (2017), dass in der

Vaterrasse Duroc ein Zusammenhang der Kandidatengene *RAMP2* und *GIMAP6* zum DNA-Fragmentations-Index besteht. Auch in Piétrain sowie Piétrain x Hampshire-Kreuzungsebern sind Assoziationen zwischen dem *ESR1* (Estrogen Receptor 1) und der Spermienmotilität ($p < 0,05$) sowie dem Auftreten von Plasmotropfen ($p < 0,01$) detektiert worden (Gunawan et al., 2011). Des Weiteren ist die Reziproke Translokation als Gendefekt bekannt, der um bis zu 20 % geringere Wurfgrößen (Kociucka et al., 2014) oder auch das Auftreten von Anomalien bewirken kann (Rodríguez et al., 2010). Dabei werden abgebrochene Chromosomenstücke zweier nicht-homologer Chromosomen miteinander ausgetauscht (Donaldson et al., 2019; Roca et al., 2015). Betroffene Ferkel weisen häufig Gaumenspalten (Ducos et al., 2004; Grahofer et al., 2019), vergrößerte Hoden und Fehlstellungen der Gliedmaßen auf, die mit erhöhten Mortalitäten einhergehen (Rodríguez et al., 2010).

3.1.1.2 Einflussfaktoren der Zuchtsau

Die erste Belegung sollte im Alter von 200 bis 224 Tagen (Roongsitthichai et al., 2013; Schukken et al., 1994) bei einem Gewicht zwischen 135 und 170 kg (Lee et al., 2019; Rozeboom, 2014), erfolgen. Findet diese im zweiten (dokumentierten) Östrus statt, ist mit einer verbesserten Ovulationsrate (MacPherson et al., 1977; Walker et al., 1989) und einer Steigerung um 1,2 IgF / Wurf ab dem vierten Wurf zu rechnen (Young et al., 1990). Des Weiteren ist die Wurfgröße abhängig von der Parität der Sau (Andersson et al., 2016; Gruhot et al., 2017; Koketsu et al., 2017). Lavery et al. (2019) errechnen ein Zuwachs von knapp 8 % IgF / Wurf bis zum vierten Wurf. Die Ovulationsrate, die Uteruskapazität sowie die fortschreitende physiologische Entwicklung der Sau zählen dabei zu den maßgebenden Faktoren (Knecht und Duziński, 2014). Eine höhere Ovulationsrate führt zu größeren Würfen ($r_g = 0,24$; $r_g = 0,52$) (Johnson et al., 1999; Ruíz-Flores und Johnson, 2001) und einer sinkenden embryonalen Überlebensrate ($r_g = -0,86$; $r_p = -0,47$) (Johnson et al., 1999). Ein verstärkter embryonaler Wettbewerb mit negativem Einfluss auf die Entwicklung der Plazenta und auf das Geburtsgewicht der Ferkel ist zu beobachten (Soede und Kemp, 2019; Town et al., 2005). (vgl. Kapitel 3, Abschnitt 3.2 (Elbert et al., 2018))

Soede et al. (1995) nehmen an, dass das Intervall von der Besamung bis zur Ovulation einen Einfluss auf den Verlust von Spermien bzw. deren Lebensdauer im Spermienreservoir nimmt. Abhängig davon ist die Fertilisation der ovulierten Oozyten (Hunter, 1967; Hunter und Dziuk, 1968) sowie die Entwicklung (Xie et al., 1990a) und das Überleben der Embryonen (Geisert und Schmitt, 2002; Kaeoket et al., 2005). Gleichzeitig steigt bei einer post-ovulatorischen Besamung das Risiko einer Endometritis (Kaeoket et al., 2005). Die Sau sollte innerhalb von null bis 24 h (Soede et al., 1995) bzw. bis 28 h vor der Ovulation und bis vier Stunden nach dieser (Nissen et al., 1997) besamt werden. Auf die Belegung innerhalb dieses Zeitraums führen Nissen et al. (1997)

eine Steigerung der Abferkelrate um 28 % und eine Erhöhung der Wurfgröße um knapp vier IgF zurück.

In der Regel werden zwei Spermaportionen pro Östrus eingesetzt, wobei frührauschende Sauen teilweise drei und spätrauschende lediglich eine Portion benötigen (Knox, 2016; Peltoniemi et al., 2019). Des Weiteren ist bekannt, dass neben dem Ort der Spermapositionierung (intrazervikale, post-cervikale bzw. intrauterine Insemination) auch die Konzentration der Spermien pro Portion die Abferkelrate und die Wurfgröße beeinflussen (Bennemann et al., 2004; Hernández-Caravaca et al., 2012; Rozeboom et al., 2004; Watson und Behan, 2002). In der Regel umfasst eine Spermaportion ein Volumen von 30 bis 80 ml (Knox, 2016) und enthält zwischen 1,5 Mrd. (Luther und Waberski, 2019) bzw. 1,8 Mrd. (GFS 2020) und 3,0 Mrd. (Knox, 2016) Spermien. Bei der intrauterinen Besamung führt eine Spermienmenge von 0,5 Mrd. pro Portion zu einer Minderung der Wurfgröße um 0,8 Ferkel pro Wurf im Vergleich zu 3,0 Mrd. pro Portion bei der intrazervikalen (Bennemann et al., 2007). Eine weitere Reduktion um die Hälfte der Spermien pro Portion führt zu einer geringeren embryonalen Lebensfähigkeit (Mezalira et al., 2005). Ergebnisse von Llamas-López et al. (2019) zeigen, dass durch die tiefe intrazervikale Insemination die Spermienkonzentration um 40 % im Vergleich zur herkömmlichen intrazervikalen gesenkt werden kann, ohne die Abferkelrate (87,5 vs. 83,6 %; $p=0,135$) oder die Wurfgröße (ggF: 13,1 vs. 13,7; $p=0,229$) signifikant negativ zu beeinflussen.

Auch die Körperkondition der Sau hat maßgeblichen Einfluss auf die Reproduktionsleistung (Roongsitthichai et al., 2013; Roongsitthichai und Tummaruk, 2014; Schenkel et al., 2010; Superchi et al., 2019). Ein BCS zwischen 2,5 und 3,5 ist anzustreben (Mallmann et al., 2018; Rozeboom, 2014), um die Wechselwirkungen zwischen dem Ernährungszustand und der metabolischen (Lucy, 2008) sowie der endokrinen Sekretion positiv zu beeinflussen (Hazeleger et al., 2005; Robert et al., 1998). Durch die Erhöhung der Futtermenge um 50 bis 100 % oder das Heraufsetzen des Energieniveaus einige Tage vor der Belegung wird die Ovulationsrate und infolgedessen die Wurfgröße positiv beeinflusst (Kraeling und Webel, 2015). Grund ist der Anstieg der Stoffwechselhormone Insulin und IGF-1 (Insulin like growth factor 1), die eine erhöhte LH-Sekretion hervorrufen (Costermans et al., 2020; Prunier und Quesnel, 2000; Quesnel et al., 1998a, 1998b). Dem entsprechend führt eine restriktive Fütterung während der frühen Follikelphase zu einer verminderten Follikelgröße (3,0 vs. 3,3 mm; $p<0,05$), einer reduzierten Ovulationsrate (13,2 vs. 14,4; $p<0,05$) und einer geringeren Zahl an Embryonen (10,5 vs. 12,6; $p<0,05$) (Chen et al., 2012). Ebenso stellten Langendijk et al. (2016) eine Minderung der Ovulationsrate um 7,5 % im Folgezyklus nach einer Futterrestriktion in der letzten Laktationswoche fest. Als Folge der negativen Energiebilanz zum Ende der Laktation nennen Costermans et al. (2020) und Yang et al.

(1989) einen verminderten Wurfzuwachs von 11 bis 15 % und Han et al., (2020) sowie Yoder et al. (2012) eine Verlängerung des Absetz-Belege-Intervalls. Hingegen führt eine restriktive Fütterung in der Präimplantationsphase (Jindal et al., 1997) sowie in der Postimplantationsphase (Jindal et al., 1996; Quesnel et al., 2010) zu einer Verringerung der embryonalen Mortalität um durchschnittlich 12 % (De et al., 2009). Ergebnisse von Cerisuelo et al. (2009), Cromwell et al. (1989), Kim et al. (2013) und Metges et al. (2012) weisen auf eine positive Beeinflussung des fetalen Wachstums (i.e.S. Geburtsgewicht, Wurfhomogenität, IUGR (Intra Uterine Growth Restriction)) durch die Erhöhung des Energiegehalts bzw. der Futtermenge und eine Anpassung der Nährstoffkonzentration im letzten Trächtigkeitsdrittel hin. Die unterstützende Wirkung auf die Entwicklung des Gesäuges und eine verbesserte Milchsekretion wird kontrovers diskutiert (Farmer, 2018; Farmer und Sørensen, 2001; Ji et al., 2006; Kim et al., 2009; Weldon et al., 1991). Bei hochleistenden Sauenlinien führt ein Heraufsetzen des Fütterungsniveaus ab dem 90. Trächtigkeitstag weder zu höheren Geburts- oder Absetzgewichten, homogeneren Würfen noch zu einem kürzeren Absetz-Belege-Intervall ($p > 0,05$) (Mallmann et al., 2018). Vielmehr gelangen die Sauen teilweise überkonditioniert in die Abferkelung, wodurch steigende Totgeburtenraten (Gonçalves et al., 2016; Mallmann et al., 2019a, 2019b, 2018) und eine verminderte Laktationsleistung zu verzeichnen sind (Père und Etienne, 2007; Revell et al., 1998).

Hohe Umgebungstemperaturen führen zu einem Rückgang der Futteraufnahme während der Laktation (Auvigne et al., 2010; Koketsu et al., 2017; Love et al., 1993; Prunier et al., 1994). Ein verlängertes Absetz-Belege-Intervall ($p < 0,01$) (Koketsu et al., 1996; Xue et al., 1994), sinkende Abferkelraten ($p < 0,05$) (Iida und Koketsu, 2016), reduzierte Wurfgrößen ($p < 0,05$) (Bloemhof et al., 2013; Chokoe und Siebrits, 2009), und verminderter Wurfzuwachs ($p < 0,001$) (Xue et al., 1994) sind die Folgen. Des Weiteren ist bekannt, dass der Umschwung von langen Tageslichtperioden im Spätsommer auf kürzere im Herbst mit geringeren Abferkelraten und sinkenden Wurfgrößen einhergehen (Chokoe und Siebrits, 2009; Lopes et al., 2014). Hervorgerufen wird dies, ähnlich wie bei den männlichen Tieren, durch ein hormonelles Ungleichgewicht (De Rensis et al., 2017; Vasantha, 2016). Der Einsatz spezieller Lichtprogramme hat sich bewährt. Zwischen 40 und 300 Lux, für eine Dauer von acht bis 12 h täglich werden empfohlen (Chokoe und Siebrits, 2009; Hoy et al., 1982; Tast et al., 2001).

Zur Verbesserung der Arbeitseffizienz im Abferkelstall ist die Geburtseinleitung 24 h vor dem errechneten Abferkeltermin gängige Praxis (Decaluwe et al., 2012; Kirkden et al., 2013). Ergebnisse von Swatland (1973) zeigen, dass das fetale Wachstum in den letzten Tagen der Trächtigkeit exponentiell ist. Dem entsprechend führen Jović et al. (2016), Sánchez-Aparicio et al. (2009), Straw et al. (2008) und Vermeulen et al. (2016) ein reduziertes Geburtsgewicht auf ein

verkürztes fetales Wachstum durch die vorzeitige Geburt zurück. Wehrend et al. (2005) nutzten den pH-Wert der Nabelschnur als Vitalitätsparameter. Sie stellten keinen Einfluss der Geburtseinleitung am 114. Trächtigkeitstag auf die Ferkelvitalität im Vergleich zur Spontangeburt fest. Eine aktuelle Studie von Boonraungrod et al. (2018) weist auf eine reduzierte Rektaltemperatur der Ferkel 24 h p.p. ($p < 0,05$) und eine verminderte Kolostrumaufnahme nach einer Geburtseinleitung am 114. Trächtigkeitstag, hin. (vgl. Kapitel 3, Abschnitt 3.2 (Elbert et al., 2018))

Meishan-Sauen verfügen naturgemäß über eine hohe Ovulationsrate (Haley et al., 1995; Miller et al., 1998) und eine gesteigerte Plazentaeffizienz (Sellier und Legault, 1986; Wilson et al., 1999, 1998). Hingegen zählen Rassen wie das Berkshire-Schwein und das Iberico-Schwein mit fünf bzw. 14 Ferkeln pro Wurf zu den weniger fruchtbaren (Fernández et al., 2008; García-Casco et al., 2012; Lee et al., 2015; Tomiyama et al., 2010). Die Ergebnisse von Li et al. (2017), Putz et al. (2015), Sell-Kubiak et al. (2019) und Tusell et al. (2013) machen deutlich, dass die Wurfgröße ein Merkmal mit niedriger Heritabilität ist, die je nach Population und Schätzmethode zwischen $h^2 = 0,04$ und $h^2 = 0,21$ liegt. Daher wird in Hybridzuchtprogrammen der Heterosiseffekt genutzt (Lukač, 2013; Luo et al., 2018; Ocepek et al., 2017). Auf Grundlage von 2.587 Würfen schätzten Bondoc et al. (2019) zwischen Reinzuchtlinien und deren F1-Kreuzungsnachkommen den Heterosiseffekt für die Wurfgröße auf 10,33 % (+1,05 Ferkel) und für das Merkmal abgesetzte Ferkel auf 9,58 % (+0,87 Ferkel) ($p < 0,01$). Die Einführung der genomischen Selektion, die damit verbundene Erhöhung der Genauigkeit der Zuchtwerte, die Verringerung des Generationsintervalls und die Steigerung der Inzuchtrate führt auch bei Merkmalen mit niedrigen bis moderaten Heritabilität zu einem deutlichen Selektionserfolg (Chen et al., 2011; Lillehammer et al., 2011; Meuwissen et al., 2001).

3.1.2 Postnatale Faktoren auf die Entwicklung von Saug- und Absetzferkeln

Direkt nach der Geburt bis zum Absetzen ist die ausreichende Versorgung des Ferkels mit Kolostrum bzw. Milch essentiell (Baxter et al., 2013; Kielland et al., 2015). Die Ernährung, die Hormonsekretion und die Genetik der Sau sind entscheidende Faktoren (Le Dividich et al., 2005; Loisel et al., 2014). Umgebungstemperaturen über 30 °C können die Milchleistung der Sau (Renaudeau und Noblet, 2001; Silva et al., 2009) um bis zu 30 % reduzieren (Spencer et al., 2003). Dabei verdeutlichen Ergebnisse von Machado-Neto et al. (1987) und Spencer et al. (2003), dass die Konzentration der IgG (Immunglobuline) in der Sauenmilch bei hohen Temperaturen im Sommer signifikant verringert ist. Weiterhin berichten Amavizca-Nazar et al. (2019) von einer reduzierten IgG-Konzentration im Serum von Ferkeln, die während der Sommermonate

gesäugt wurden. Gleichzeitig sind in diesen Monaten erhöhte Mortalitätsraten (9,2 vs. 8,1 %) (Amavizca-Nazar et al., 2019) und geringere Absetzgewichte bei den Ferkeln (Koketsu und Dial, 1998) zu beobachten. Der zusätzliche Einfluss der Parität wird dadurch deutlich, dass Jungsaunen im Vergleich zu Altsauen weniger und mit einer geringeren IgG-Konzentration ausgestattetes Kolostrum produzieren (Cabrera et al., 2012; Devillers et al., 2007; Nuntapaitoon et al., 2019). Zudem nimmt bei Jungsaunen die IgG-Konzentration in den ersten 24 h p.p. deutlich schneller ab als bei Altsauen (Nuntapaitoon et al., 2019; Quesnel, 2011). Überlegen ist die Jungsau hingegen in der Anzahl funktionsfähiger Zitzen und deren Beschaffenheit (Ocepek et al., 2016; Vasdal und Andersen, 2012).

Die physiologischen und individuellen Unterschiede zwischen den Sauen (Jungsau bzw. Altsau) machen deutlich, dass der durch steigende Wurfgrößen notwendige Wurfausgleich ein weiterer Einflussfaktor auf die Entwicklung des Ferkels ist (Alexopoulos et al., 2018; Baxter et al., 2013). Auf Grund der sinkenden IgG-Konzentration empfehlen Alexopoulos et al. (2018) mit dem Wurfausgleich ab 12 h p.p. zu beginnen und nach 24 h p.p. das Versetzen auf ein Minimum zu reduzieren, um den steigenden Wettbewerb der Wurfgeschwister zu begrenzen. Gleichzeitig hat die Homogenität, die bei dem Wurfausgleich erreicht wird, einen Einfluss auf die Überlebensrate und die Zunahmen der Ferkel (Milligan et al., 2001a; Milligan et al., 2001b). Deen und Bilkei (2004) berichten von geringeren Saugerfolgen der leichteren Ferkel und infolgedessen einer Ausgrenzung dieser durch die schwereren Wurfgeschwister. Auch Ergebnisse von Wientjes (2013) und Zhang et al. (2016) deuten darauf hin, dass eine steigende Wurfhomogenität zur Reduzierung der Mortalität und Steigerung der Zunahmen bzw. dem Absetzgewicht führt. Allerdings besteht bei versetzten Ferkeln ein erhöhtes Mortalitätsrisiko ($p < 0,05$) (Calderón Díaz et al., 2018). Der Erfolg der Integration eines Ferkels in einen unbekanntem Wurf ist abhängig vom Alters- und Wurfgrößenunterschied ($p < 0,05$) (Pajžlar und Skok, 2019). Ist der Wurfausgleich nur bedingt möglich, kann durch split suckling der Saugerfolg des einzelnen Ferkels unterstützt werden (Baxter et al., 2013). Verschiedene Studien berichten von einer verbesserten Überlebensrate der Ferkel (Huser et al., 2015a), positiven Effekten auf das Immunsystem (Alonso et al., 2012) und höheren Zunahmen (Morton et al., 2017). Gemäß Huser et al. (2015b) wirkt sich das split suckling weder vor noch nach dem Absetzen auf die Zunahmen der Ferkel oder auf die IgG-Konzentration aus ($p > 0,05$).

Zum Zeitpunkt der Entwöhnung wirken soziale- und Umwelt-Stressoren auf das Ferkel ein (Campbell et al., 2013; Middelkoop et al., 2019; Turpin et al., 2016). Um diesen Absetzstress und damit Leistungseinbußen zu mindern und das Ferkel möglichst gut auf die anstehende Ferkelaufzuchtphase vorzubereiten, hat sich das Zufüttern mit speziellem Ferkelfutter zum Ende

der Säugezeit bewährt (Collins et al., 2017; Lee und Kim, 2018; Middelkoop et al., 2019). Ferkel, die in dieser Phase bereits eine gute Futterraufnahme erreichen, wachsen schneller und weisen somit – bei gleicher Säugezeit – höhere Absetzgewichte auf (Appleby et al., 1992; Huting et al., 2019; Somnavilla et al., 2015). Ergebnisse von Collins et al. (2017) bestätigen, dass Ferkel mit einem Absetzgewicht von >8,5 kg seltener während der Ferkelaufzucht versterben im Vergleich zu Ferkeln, die <6,5 kg wiegen ($p < 0,001$). Ferkel, die leichter oder jünger abgesetzt werden, neigen eher zu Lahmheiten ($p < 0,05$) (Calderón Díaz et al., 2017). Einen Einfluss des Absetzalters (19, 22, 25, 28 Tage) auf die Mortalität konnten Faccin et al. (2019) nicht nachweisen. Dennoch ist das Absetzalter ein wichtiger Aspekt hinsichtlich der weiteren Mastleistung (Huting et al., 2019; Wolter und Ellis, 2001). So bestätigen Faccin et al. (2020, 2019), dass Ferkel, die 28 Tage gesäugt wurden, höhere Zunahmen und eine bessere Futterverwertung in den weiteren Produktionsabschnitten erreichen im Vergleich zu denen, die kürzer gesäugt wurden. Turpin et al. (2016) verglichen 28 mit 35 Tagen Säugezeit. Sie stellten fest, dass Ferkel, die 35 Tage gesäugt und ab der letzten Laktationswoche täglich für acht Stunden von der Sau separiert wurden, signifikant mehr Futter vor und nach dem Absetzen aufnahmen ($p < 0,05$) und die ersten 12 Tage nach dem Absetzen die höchsten Wachstumsraten erreichten ($p < 0,01$).

Zu Beginn der Ferkelaufzucht treten besonders häufig Störungen der Magen-Darm-Flora auf, die oft mit einer Diarrhö einhergehen (Gebhardt et al., 2020; Heo et al., 2013; Luyckx et al., 2016). Das Ergänzen der Futterrationsration mit Spurenelementen wie Zink und Kupfer (Case und Carlson, 2002; Ma et al., 2015; Wei et al., 2020), der Zusatz von hochverdaulichen Proteinen (Hugman et al., 2020; Zhou et al., 2020) oder die Applikation verschiedener Futterkonsistenzen (Hugman et al., 2020) haben sich bewährt, um Leistungseinbußen in der Ferkelaufzucht zu mindern. Von einer Stabilisierung der Darmflora durch den Zusatz von Fettsäuren in einem Gewichtsbereich von sieben bis 23 kg berichten Gebhardt et al. (2020). Dabei erreichten diese Ferkel durchschnittlich 22 g / d höhere Zunahmen ($p < 0,05$) und wiesen eine um 0,1 verbesserte Futterverwertung auf ($p < 0,05$) (Gebhardt et al., 2020). Ergebnisse von Zhai et al. (2020) deuten darauf hin, dass durch den Zusatz von Benzoesäure und ätherischen Ölen während der ersten 28 Tage in der Ferkelaufzucht eine um 9 % höhere tägliche Zunahme und verbesserte Futterraufnahme im Vergleich zur Kontrollgruppe erzielt werden kann. Eine effizientere Futterverwertung der Versuchsgruppe stellten sie für die ersten zwei Wochen des Experiments fest ($p < 0,05$) (Zhai et al., 2020).

Neben den Umweltfaktoren wird die weitere Entwicklung des Ferkels durch die Genetik beeinflusst (Bergamaschi et al., 2020; De Cuyper et al., 2019; Knol et al., 2002a; Park et al., 2019). Dabei ist der indirekte genetische Effekt, der sich als maternaler Effekt durch die Sau äußert

(Bijma, 2014), und der direkte genetische Effekt, der das genetische Potential des Ferkels selbst beschreibt (Roehe et al., 2009), von Bedeutung. Komponenten des maternalen Effekts wirken pränatal (Uteruskapazität, Plazentaeffizienz) und postnatal (Menge und Zusammensetzung des Kolostrums, mütterliches Verhalten) (Edwards und Baxter, 2015; Heuß, 2020; Knol et al., 2002b; Roehe et al., 2009). Heuß (2020) geht davon aus, dass der maternale Effekt bis zum Absetzen abnimmt, während der direkte genetische Effekt (genetisches Potential des Ferkels: Vitalität, Wachstum, Resistenz) weiter zunimmt. Hochleistende, moderne Genotypen reagieren im Vergleich zu weniger hochleistenden, älteren Genotypen deutlich sensibler auf Veränderungen der Umwelt (Klima, Krankheit, Platzangebot, Futter) in Form von Leistungseinbußen (Rauw und Gomez-Raya, 2015; Renaudeau et al., 2011). Dabei stellten Chatelet et al. (2018) fest, dass eine verstärkt auf Futtereffizienz (LRFI) selektierte Linie im Gegensatz zu einer weniger stark selektierten (HRFI) auch unter schlechten Umweltbedingungen höhere Mastleistung generieren kann. Chatelet et al. (2018) gehen von einer besseren Adaptationsfähigkeit der LRFI-Gruppe aus. Schweine, bei denen sich diese Fähigkeit abzeichnet, gelten als robust (Knap, 2005). Diese Tiere kombinieren ein hohes Produktionspotential mit der Flexibilität gegenüber externen Stressoren, wodurch unter zahlreichen Umweltbedingungen das Produktionspotential realisiert werden kann (Knap, 2005). Weiterhin bestätigen verschiedene Studien einen Effekt der Genetik auf die Überlebensfähigkeit bis zum Absetzen (Baxter et al., 2011; Eyovwunu et al., 2016; Fahmy et al., 1978) oder in der Ferkelaufzucht (López-Soria et al., 2011). Auch das Geburtsgewicht wird von der Genetik beeinflusst (Ahmad et al., 2020; Damgaard et al., 2003; Dufrasne et al., 2013) und die Assoziation zwischen diesem und dem Wachstum (Fix et al., 2010b; Kaufmann et al., 2000; Vázquez-Gómez et al., 2020) ist vielfach bestätigt. Taylor et al. (2015) verglichen die Mastleistung von Masthybriden in Abhängigkeit der Endstufeneberlinie (Hampshire vs. Large White) und des Lysin-Gehalts im Futter (ad-libitum vs. restriktiv). In der ad-libitum Variante erreichten die Hampshire Nachkommen durchschnittlich 74 g / d höhere Zunahmen ($p < 0,001$), fraßen 158 g / d mehr Futter ($p < 0,001$) bei gleicher Futtermittelverwertung ($p = 0,944$). Die Restriktion des Lysins führte in beiden Gruppen zu gleichen Wachstumsraten. Der Lysin-Gehalt limitiert demnach bei den Hampshire-Nachkommen das Ausnutzen des genetischen Wachstumspotentials deutlicher als bei den Large White-Nachkommen (Taylor et al., 2015). Wobei davon ausgegangen wird, dass wachstumsbetonte Linien einen höheren Protein-Bedarf haben bzw. ein engeres Energie-Proteinverhältnis benötigen, um ihr Proteinansatzvermögen auszunutzen (Emmans und Kyriazakis, 1997; Quiniou et al., 1996; Whittemore et al., 2001).

3.2 Vitale Ferkel – der Einfluss der Wurfgröße – eine Übersichtsarbeit

Kathrin Elbert¹, J. Tetens¹ und R. Waßmuth²

¹Department für Nutztierwissenschaften, Abteilung Functional Breeding, Georg-August-Universität Göttingen; Burckhardtweg 2, 37077 Göttingen

²Hochschule Osnabrück, Fakultät für Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur; Am Krümpel 31, 49090 Osnabrück

veröffentlicht in

Züchtungskunde 90 (5), 364-378, 2018

ISSN 0044-5401

©Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Zusammenfassung

Steigende Wurfgrößen beim Schwein haben zu sinkenden, heterogenen Geburtsgewichten und in der Folge zu erhöhten Mortalitäten geführt. Eine züchterische Bearbeitung des Geburtsgewichtes sowie dessen Varianz innerhalb eines Wurfs und ein angepasstes Management können dem entgegenwirken. Dennoch steht die insgesamt hohe Wurfgröße mit allen tierschutzrelevanten Implikationen in der Kritik. Die unmittelbare Berücksichtigung der Vitalität des einzelnen Ferkels ist ein wichtiger Ansatz zur Entzerrung dieser Problematik. Durch eine einheitliche Erfassung der Vitalität können schwächere Ferkel schneller identifiziert und unterstützt werden. Selektionsentscheidungen sind zielgerichteter zu treffen und umzusetzen. Ebenso ist eine ausreichende Versorgung mit Kolostrum zu gewährleisten. Diese beginnt bei der Selektion der Sau mit der besonderen Berücksichtigung des Gesäuges und reicht bis hin zur Bereitstellung von Ferkeltassen oder von Ammen. Eine weitere Zucht auf Wurfgröße ist nicht zielführend. Es gilt die vorhandenen Faktoren zu verbessern und zu stabilisieren, sodass die aktuelle Wurfgröße mit einem hohen Anteil vitaler Ferkel im Einklang mit Tierwohl und Tierschutz ist.

Schlüsselwörter: Vitalitätsmerkmale, Wurfgröße, Tierwohl

Summary

Vital piglets, - effect of litter size, a review

In pig production, increasing litter sizes have resulted in lower and heterogenous birth weights accompanied by higher piglet mortality. Breeding to improve the birth weight and its variance within litter, along with adapted management practices, could counteract this. However, high litter size with all its animal welfare implications is under debate. The assessment of individual piglet vitality is an important approach to improve animal welfare. A standardized vitality measurement allows the identification and support of weaker piglets. Likewise, informed selection decisions could be made based on piglet vitality. Another important task is an adequate colostrum supply. This starts with sow selection, especially considering the teats and further encompasses the allocation of piglet cups and the use of foster sows. Further breeding for increased litter size will aggravate existing problems and is counterproductive. The improvement of the management factors and the implementation of vitality measurements in breeding plans may help to combine the current litter size with a high proportion of vital piglets in accordance with high animal welfare standards.

Keywords: vitality traits, litter size, animal welfare

1. Einleitung

Die Wurfgrößen haben in den vergangenen Jahren immer weiter zugenommen. So ist beispielsweise die Zahl lebend geborener Ferkel pro Wurf in Schleswig-Holstein seit 2010 um knapp 17 % auf 15,4 Ferkel gestiegen (LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN 2017, 2010). Das Wurfgewicht steigt jedoch mit zunehmender Wurfgröße nur degressiv (KITKHA et al., 2017) und es kommt vielmehr zu sinkenden und heterogenen Geburtsgewichten sowie einem erhöhten Konkurrenzdruck zwischen den Wurfgeschwistern um eine ausreichende Kolostrumaufnahme (KABALIN et al., 2017; FIX et al., 2010). Infolge dessen nimmt die Mortalität mit steigender Wurfgröße zu (CALDERON DIAZ et al., 2017; BAXTER et al., 2013). Die Vitalität der Ferkel steht im engen Zusammenhang mit diesen Beobachtungen. Durch die Erfassung verschiedener Hilfsmerkmale ist sie quantifizierbar und stellt einen Lösungsansatz zur Verbesserung des Tierwohls dar. Die vorliegende Arbeit gibt einen aktuellen Überblick hinsichtlich der Vitalitätsmerkmale beim Ferkel. Der Einfluss der Wurfgröße wird analysiert und kritisch vor dem Hintergrund des Tierschutzes und der Ferkelvitalität betrachtet. Lösungsansätze zur Entzerrung der Problematik werden genannt.

2. Vitalität und Vitalitätsmerkmale

2.1 Begriffsklärung

Der Begriff *Vitalität* leitet sich von dem lateinischen Begriff *Vitalitas* bzw. dem Adjektiv *vital* ab und bedeutet Lebenskraft (SAUERMOST et al., 1999). Ebenso kann der Begriff von dem lateinischen Wort *vita* = das Leben abgeleitet werden (KLUG 2016). Die Vitalität eines Individuums oder einer Population ist genetisch festgelegt, wird durch Umweltfaktoren modifiziert und äußert sich in der Anpassungsfähigkeit an die gegebene Umwelt (BECKER et al., 1987). MERKS et al. (2012) definieren die Vitalität eines Ferkels als dessen Fähigkeit, von der Geburt bis zum Absetzen, zu überleben. Ebenso zeichnen die Frohwüchsigkeit sowie die Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen ein vitales Ferkel aus (MUNS et al., 2013). Die ausgeprägte Adaptionfähigkeit dieser Ferkel sichert das Überleben in der postnatalen Phase (DIVIDICH et al., 2017; FIX et al., 2010). Mit jedem zusätzlich geborenen Ferkel steigt das Mortalitätsrisiko um 1,47 % ($p < 0,001$) (WIENJES 2013). Diesen Zusammenhang sehen auch CALDERÓN DÍAZ et al. (2017), PANDOLFI et al. (2017) und ANDERSEN et al. (2011). Trotz steigender Wurfgröße nehmen vitale Ferkel mehr Milch auf, sind seltener hungrig, halten sich daher seltener am Gesäuge auf und werden auf Grund dessen weniger häufig von der Sau erdrückt (PANDOLFI et al., 2017; MUNS et al., 2016; ANDERSEN et al., 2011). Die Vitalität eines Ferkels ist positiv mit der Überlebenschance sowie dem Wachstum korreliert (MUNS et al., 2016, 2013; HOY et al., 1995). Über Hilfsmerkmale, die den physiologischen Zustand des Neugeborenen beschreiben, erfolgt die Erfassung der Vitalität (BALZANI et al., 2016; PANZARDI et al., 2013; MOTAROJAS et al., 2012; JUNGHANS, 1992). Auf Grund des genannten Zusammenhangs wird die

Mortalitätsrate genutzt, um die Aussagekraft der Hilfsmerkmale zu überprüfen (NUNTAPAITOON et al., 2017; DECALUWÉ et al., 2014; AMDI et al., 2013; VASDAL et al., 2011).

2.2 Vitalitätsbeurteilung mit Hilfe des APGAR-Scores

In der Humanmedizin wurde 1953 von Virginia Apgar der APGAR-Score entwickelt (APGAR 1953). Dabei handelt es sich um ein Punkteschema, das eine schnelle und standardisierte Beurteilung der Vitalität eines Neugeborenen zulässt (MOTA-ROJAS et al., 2012). Neben den Vitalfunktionen (Atem- und Herzfrequenz) werden der Muskeltonus, die Hautfarbe sowie die Reflexauslösbarkeit des Neugeborenen eine Minute, fünf und zehn Minuten nach der Geburt erfasst (MAIER und STILLER 2011). Für jedes Merkmal wird eine Punktzahl von null, eins oder zwei vergeben, sodass maximal zehn Punkte zu erreichen sind (MAIER und STILLER 2011). Auf Grund der guten Etablierung des APGAR-Scores in der Humanmedizin erfolgten Modifizierungen des Scores für Welpen, Lämmer, Fohlen, Kälber und Ferkel (VERONESI et al., 2009, 2005; MOORS 2005; SCHULZ et al., 1997; RANDALL 1971).

2.3 Ferkelvitalitätsmerkmale

Geburtsgewicht

Das Geburtsgewicht spiegelt die neonatale Lebensfähigkeit wider (INOUE et al., 2017). Ein Wert ≤ 1000 g gilt dabei als kritisch (DECLERCK et al., 2016). CALDERÓN DÍAZ et al. (2017) schätzten die Überlebenschance eines Ferkels mit einem Geburtsgewicht < 950 g auf 28,4 % und die eines Ferkels mit einem Geburtsgewicht > 950 g auf 87,1 %. Damit bestätigen sie die Erkenntnis von DECLERCK et al. (2016), MAGNABOSCO et al. (2015), HALES et al. (2013), TUCHSCHERER et al. (2000) und HOY et al. (1997). Auf Grund der positiven Korrelation zwischen Körperoberflächentemperatur und Geburtsgewicht sind Ferkel mit einem niedrigen Geburtsgewicht extrem kälteempfindlich ($r=0,47$; $p<0,01$) (CALDARA et al., 2014). Ebenso sehen ANDERSEN und PEDERSEN (2016) einen positiven Zusammenhang zwischen Geburtsgewicht und Rektaltemperatur ($p\leq 0,001$). Dieses Ergebnis deckt sich mit dem von NUNTAPAITOON et al. (2017), die eine Korrelation von $r=0,128$ ($p<0,001$) errechneten. Des Weiteren beeinflusst das Geburtsgewicht die Zeit bis zur ersten Kolostrumaufnahme und die Menge, die das Ferkel aufnimmt (DEVILLERS et al., 2007; HOY et al., 1997, 1995, 1994). DIVIDICH et al. (2017) errechneten je 100 g erhöhtem Geburtsgewicht eine Steigerung der Kolostrumaufnahme um $26 \pm 1,6$ g ($p<0,001$). Dementsprechend kamen DECLERCK et al. (2017), WIEGERT et al. (2017) und DECALUWÉ et al. (2014) zu einer positiven Korrelation zwischen dem Geburtsgewicht und der Kolostrumaufnahme und bestätigten diesen Zusammenhang ($p<0,01$). PANZARDI et al. (2013) und HERPIN et al. (1996) führen das seltenere Auftreten der Hypothermie sowie die geringeren Mortalitätsraten auf die Vitalität der Ferkel

zurück. Sie sehen das Geburtsgewicht als geeigneten Vitalitätsparameter an (PANZARDI et al., 2013; HERPIN et al., 1996).

VAN DER WAAIJ et al. (2010) stellten fest, dass mit zunehmender Ovulationsrate die Anzahl an Embryonen steigt, das Gewicht der Föten sowie das der Plazenta sinken und sich die Verbindungsfläche zwischen dem Endometrium und der Plazenta verringert ($p < 0,001$). Die Uteruskapazität ist begrenzt, wodurch das Raumangebot, die Nährstoffversorgung, der Gasaustausch und die Oberfläche der Plazenta limitiert sind (BRÜSSOW und WÄHNER 2008). Es kommt zur Konkurrenz zwischen den einzelnen Embryonen um einen geeigneten Nistplatz (BIDARIMATH und TAYADE 2017; RUTHERFORD et al., 2013). Zudem beschreiben GONZALEZ-AÑOVER et al. (2011) einen negativen Einfluss der humoralen Sekretion der weiter entwickelten Embryonen auf die Entwicklung ihrer Wurfgeschwister. In Folge dessen sinkt das Geburtsgewicht mit steigender Wurfgröße im Mittel um etwa 33,5 g pro Ferkel (BEAULIEU et al., 2010; QUINIOU et al., 2002). Das Mortalitätsrisiko erhöht sich um 3,0 % je 100 g reduziertem Geburtsgewicht (WIENJES 2013). Der Variationskoeffizient (CV) des Geburtsgewichtes innerhalb eines Wurfs liegt zwischen 15 bis 17 % bei kleinen und mittleren Würfen (<14 Ferkel) und steigt bis auf 26,5 % bei großen Würfen (≥ 15 Ferkel) (MARANDU et al., 2015; QUESNEL et al., 2014; QUINIOU et al., 2002). MILLIGAN et al. (2002) geben einen Korrelationskoeffizienten zwischen dem Geburtsgewicht und der Anzahl lebend geborener Ferkel, von $r = -0,458$ an ($p < 0,001$). Die Autoren NUNTAPAITOON und TUMMARUK (2015) kamen zu dem Ergebnis, dass bei einer Wurfgröße von 13 bis 15 Ferkeln die Saugferkelverluste um 12,3 % höher liegen als in einem Wurf mit acht bis zehn Ferkeln ($p < 0,001$).

Körpertemperatur

Die Körpertemperatur gibt Aufschluss über die Adaptionfähigkeit des Ferkels an die extrauterine Umwelt (BAXTER et al., 2008; HERPIN et al., 1996). BAXTER et al. (2008) erfassten die Rektaltemperatur (direkt, eine -, drei - und 24 h p.p.) bei Saugferkeln. Die überlebenden Ferkel hatten im Vergleich zu denen die verendeten eine von 0,48 °C bis 1,24 °C höhere Körpertemperatur ($p \leq 0,002$, $p \leq 0,01$, $p \leq 0,05$) (BAXTER et al., 2008). Diese Ergebnisse decken sich mit denen von DEVILLERS et al. (2011) und HOY et al. (1995). PANZARDI et al. (2013) errechneten ein höheres Mortalitätsrisiko innerhalb der ersten drei bis sieben Lebenstage bei Ferkeln, die eine Körpertemperatur < 38 °C 24 h p.p. aufwiesen ($p < 0,05$). Ebenso sinkt die Körpertemperatur bei leichteren Ferkeln innerhalb der ersten 30 Minuten p.p. stärker im Vergleich zu der der schwereren ($0,14 \pm 0,02$ °C / 100 g GgW.; $p < 0,001$) (PEDERSEN et al., 2013). Vor dem Hintergrund des weniger invasiven Eingriffs am Ferkel und den moderaten bis starken Korrelationen ($r = 0,24$ bis $r = 0,96$) erfassen aktuelle Studien die Körpertemperatur mittels Infrarotmessungen (PETRY et

al., 2017; JARA et al., 2016; CHUNG et al., 2010). Damit verbunden ist ein Rückschluss auf die Vitalität des Ferkels möglich (i.e.S. die Überlebensrate und der Gesundheitszustand) (AMDI et al., 2016; CHUNG et al., 2010). Hypothermie wird selten als Verlustgrund erfasst, dennoch nehmen PEDERSEN et al. (2011) und EDWARDS (2002) an, dass Hypothermie primär zum Verhungern, Erdrücktwerden oder Erkrankungen der Ferkel führt. Zudem stellten OCEPEK et al. (2017) und ANDERSEN et al. (2011) fest, dass mit zunehmender Wurfgröße vermehrt Ferkel verhungern ($p < 0,001$) und der prozentuale Anteil erdrückter Ferkeln steigt ($p < 0,01$).

Konzentration der Immunglobuline

Ferkel werden ohne Antikörper geboren (ROOKE und BLAND 2002). Lediglich durch die Aufnahme des Kolostrums erhalten sie maternale Antikörper und damit ihre passive Immunität (KIELLAND et al., 2015; ROOKE und BLAND 2002). Das Kolostrum wird für einen Zeitraum von 24 h freigesetzt (DECALUWÉ et al., 2014; AMDI et al., 2013). Da die Permeabilität der Darmwand zeitlich begrenzt ist (ROOKE und BLAND 2002), ist eine rasche Kolostrumaufnahme lebenswichtig für das Ferkel (MUNS et al., 2017; BAXTER et al., 2013). Um eine ausreichende passive Immunität zu erlangen sowie die Überlebensfähigkeit des Ferkels zu sichern, empfehlen WIEGERT et al. (2017), QUESNEL et al. (2012) und DEVILLERS et al. (2011) eine Kolostrumaufnahme von mindestens 200 g / Ferkel innerhalb der ersten 24 h p.p. CABRERA et al. (2012) erfassten die IgG-Konzentration im Blut bei Ferkeln. Lag die IgG-Konzentration innerhalb der ersten drei Lebenstage ≤ 1.000 mg / dl, bestand eine um 24 % geringere Überlebenschance (≤ 1.000 mg / dl, 67 % vs. 2.250-2.500 mg / dl, 91 %; $p < 0,05$; $R^2 = 0,57$) (CABRERA et al., 2012). Dieses Ergebnis unterstützen AGBOKOUNOU et al. (2017), die die IgG-Konzentration im Blut der Ferkel als aussagekräftigen Vitalitätsparameter bezeichnen, der Aufschluss über dessen Immunstatus und die Vitalität des Ferkels gibt.

Eine steigende Wurfgröße führt dazu, dass dem einzelnen Ferkel innerhalb eines Wurfs weniger Kolostrum zur Verfügung steht (QUESNEL et al., 2012). Je zusätzlich lebend geborenem Ferkel sinkt die jedem einzelnen Ferkel zur Verfügung stehende Kolostrummenge um durchschnittlich 20 g ($r = -0,6$; $p < 0,001$) (DECALUWÉ et al., 2014). In Folge dessen sinkt die IgG-Plasma-Konzentration linear um 0,4 g / l je zusätzlich geborenem Ferkel innerhalb eines Wurfs (KIELLAND et al., 2015). Des Weiteren liegt am 21. Lebenstag eine um 3,13 g / l höhere IgG-Serum-Konzentration bei Ferkeln mit einem Geburtsgewicht > 1.000 g vor ($23,55 \pm 4,03$ g / l vs. $20,42 \pm 2,33$ g / l; $p < 0,01$) (KABALIN et al., 2017). MOREIRA et al. (2017) untersuchten die Überlebensrate in Abhängigkeit der Kolostrumaufnahme. Sie limitierten die Verfügbarkeit des Kolostrums innerhalb der ersten 24 h p.p. Ferkel, die bis zu 120 ml aufnehmen konnten, wiesen eine um 22,3 % geringere

Überlebensrate auf im Vergleich zu denen, die bis 200 ml Kolostrum saugten (66,7 % vs. 89,0 %; $p < 0,03$) (MOREIRA et al., 2017).

Herzfrequenz, Sauerstoffgehalt- und Glucosekonzentration im Blut

Die Herzfrequenz und der Sauerstoffgehalt im Blut lassen ebenfalls einen Rückschluss auf die Vitalität des Ferkels zu (MOTA-ROJAS et al., 2015). MALMKVIST et al. (2006) sehen neben der Herzfrequenz, die Glucosekonzentration im Blut als repräsentativen Vitalitätsparameter an. Zwischen der Kontroll- und der Versuchsgruppe bestand weder bei der Herzfrequenz ($196 \pm 3,6$ bpm vs. $196 \pm 3,3$ bpm; $p = 0,84$) noch bei der Glucosekonzentration im Blut ($3,0 \pm 0,08$ mmol vs. $2,8 \pm 0,10$ mmol; $p = 0,41$) ein Unterschied. Die erhöhte Mortalitätsrate ($12,2 \pm 4,6$ % vs. $7,2 \pm 2,8$ %; $p = 0,047$) in der Kontrollgruppe erklärten MALMKVIST et al. (2006) durch das nicht Vorhandensein der Fußbodenheizung und die damit verbundenen ungünstigen Auswirkungen auf das Ferkel. PANZARDI et al. (2013) errechneten ein erhöhtes Mortalitätsrisiko bei einer niedrigen (24 - 30 mg / dl) als auch bei einer hohen (45 - 162 mg / dl) Glucosekonzentration im Blut ($p < 0,05$) und unterstützen die Erkenntnis von NUNTAPAITOON et al. (2017), MALMKVIST et al. (2006) und HERPIN et al. (1996) hinsichtlich des Rückschlusses auf die Vitalität des Ferkels. Des Weiteren steigt die Herzfrequenz ($p < 0,001$) und der Sauerstoffgehalt im Blut ($p < 0,05$) mit zunehmendem Geburtsgewicht an (CASELLAS et al., 2004). PANZARDI et al. (2013) halten die alleinige Messung der Herzfrequenz sowie die des Sauerstoffgehalts im Blut für ungeeignet, da kein Effekt dieser Parameter auf die Mortalitätsrate vorlag und teilen die Erkenntnis von CASELLAS et al. (2004) und ZALESKI und HACKER (1993a).

Geburtsreihenfolge, Zustand der Nabelschnur und Hautfarbe

Um die Geburtsreihenfolge hinsichtlich ihrer Aussagekraft der Vitalität zu untersuchen, erfassten KITKHA et al. (2017) diese und untersuchten deren Einfluss auf das Geburtsgewicht. Ferkel bei denen die Geburtsreihenfolge ≥ 17 lag, waren 110 g leichter im Vergleich zu denen, die in der Reihenfolge bis zum zehnten Ferkel geboren wurden ($p < 0,05$) (KITKHA et al., 2017). PANZARDI et al. (2013) errechneten ein 2,4-fach erhöhtes Mortalitätsrisiko ab dem zehnten Ferkel in der Geburtsreihenfolge ($p < 0,05$) und kamen zu demselben Schluss wie KITKHA et al. (2017), dass Ferkel, die in höherer Geburtsreihenfolge geboren wurden, weniger vital sind. DIVIDICH et al. (2017) kamen zu dem Ergebnis, das bei den zwei zuletzt geborenen Ferkeln, eine um 29,5 % geringere IgG-Serum-Konzentration am zweiten Tag p.p. im Vergleich zu den zwei zuerst geborenen ($p < 0,01$) bei gleichem Mortalitätsrisiko ($p > 0,05$) vorlag. DIVIDICH et al. (2017) sehen auf Grund des gleichen Mortalitätsrisikos keinen Einfluss der Geburtsreihenfolge auf die Vitalität der Ferkel und teilen in diesem Punkt die Erkenntnis von DECLERCK et al. (2016) und CABRERA et al. (2012).

Die häufig aufeinanderfolgenden Uteruskontraktionen am Ende der Austreibungsphase erhöhen das Risiko für das Brechen oder das Abreißen der Nabelschnur und das Ablösen der Plazenta (PANZARDI et al., 2013; HERPIN et al., 1996). Gleichzeitig unterstützt eine verlängerte Geburtsdauer, die auf eine steigende Wurfgröße zurückzuführen ist, diese Problematik (BJÖRKMAN et al., 2017). Ein Ferkel, dessen Nabelschnur Risse und Läsionen erkennen lässt, unterliegt ebenfalls einem höheren Mortalitätsrisiko innerhalb der ersten drei Tage p.p. ($p < 0,05$) (PANZARDI et al., 2013). ROOTWELT et al. (2013) bestätigten, dass diese Ferkel einen reduzierten Vitalitätsscore im Vergleich zu denen mit einer intakten Nabelschnur aufwiesen ($p = 0,021$) und kamen zu demselben Schluss wie ZALESKI und HACKER (1993b), die den Zustand der Nabelschnur als geeigneten Vitalitätsparameter beschrieben. Diese Erkenntnis bestätigt sich in der Untersuchung von NUNTAPAITOON et al. (2017) nicht. Sie sowie PANZARDI et al. (2013) und HERPIN et al. (1996) sehen die Hautfarbe als sinnvollen Vitalitätsparameter an. Ferkel, bei denen eine zyanotische Hautfarbe auftrat, hatten ein erhöhtes Mortalitätsrisiko (7,9-, 5,2-fache, $\geq 3.$, ≥ 7 Tag p.p.; $p < 0,05$) (PANZARDI et al., 2013). Ebenso verendeten in der Untersuchung von NUNTAPAITOON et al. (2017) mehr Ferkel, die kurz nach der Geburt eine blasse im Vergleich zu denen, die eine normale roséfarbene Haut hatten (26,7 % vs. 7,7 %; $p < 0,001$).

Anomalien, IUGR-Ferkel

Ferkel, bei denen Anomalien auftreten sind in ihrer Adaptionfähigkeit eingeschränkt und zeigen eine höhere Sterblichkeit (HAO et al., 2017; KUMARESAN 2013). Mit steigender Wurfgröße treten vermehrt an Intrauterine Growth Restriktion (IUGR) leidende Ferkel auf (VÁZQUEZ-GÓMEZ et al., 2016; FOXCROFT et al., 2006). Die eingeschränkte Uteruskapazität führt bei einigen Ferkeln zur Unterversorgung mit Nährstoffen und Sauerstoff (DONG et al., 2016). Damit die Entwicklung des Gehirns weiterhin gewährleistet ist, schließt sich die Schädeldecke dieser Tiere nicht (MILLER et al., 2016; ROZA et al., 2008). Sie werden mit einer veränderten Kopfform geboren (AMDI et al., 2016, 2013). HALES et al. (2013) kamen zu dem Ergebnis, dass Ferkel, die innerhalb des ersten Tages p.p. verendeten, aus größeren Würfen stammten ($17,2 \pm 0,06$ ggF vs. $18,9 \pm 0,19$ ggF; $p = 0,005$) und einen erhöhten IUGR-Score aufwiesen ($1,17 \pm 0,01$ vs. $1,47 \pm 0,04$; $p = 0,004$). Das Risiko dieser Ferkel, innerhalb der ersten 24 h p.p. zu versterben, ist 1,9-fach höher im Vergleich zu ihren Wurfgeschwistern ($p = 0,001$) (HALES et al., 2013).

Saugferkelverhalten

Neben den physiologischen Parametern ist die Erfassung und Analyse von verhaltensbasierten Parametern unmittelbar nach der Geburt ein weiteres Tool, um Aussagen über die Vitalität der Ferkel treffen zu können (DECLERCK et al., 2017; NUNTAPAITOON et al., 2017; ANDERSEN und PEDERSEN 2016; BALZANI et al., 2016; DECALUWÉ et al., 2014; VASDAL et al., 2011; HOY et al., 1995).

NUNTAPAITOON et al. (2017) untersuchten die Zeit bis zum ersten Stehversuch des Ferkels. Die Mortalitätsrate der Ferkel, die über fünf Minuten p.p. bis zum ersten Stehversuch benötigten, lag 32,2 % höher im Vergleich zu denen, die innerhalb der ersten Minute p.p. den ersten Versuch tätigten ($p < 0,001$). Diese Ergebnisse decken sich mit denen von PANZARDI et al. (2013) ($p < 0,05$). LEENHOUWERS et al. (2001) und HOY et al. (1995) stellten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Zeit bis zum ersten Stehen und der Mortalität fest. DECLERCK et al. (2016) und DECALUWÉ et al. (2014) untersuchten die Zeitspanne von der Geburt bis zum ersten Saugen des Ferkels und errechneten ein erhöhtes Mortalitätsrisiko für Ferkel, die bis zur ersten Kolostrumaufnahme länger als der Durchschnitt benötigten ($p < 0,001$; $p < 0,05$). Zudem ergab eine 2,7 minütige Verlängerung der Zeitspanne, eine durchschnittliche Reduzierung des Absetzgewichtes um 238 g pro Tier (DECLERCK et al., 2016). In der Untersuchung von ANDERSEN und PEDERSEN (2016) erreichten Ferkel mit einem höheren Geburtsgewicht das Gesäuge schneller und nahmen eher Kolostrum auf als ihre Wurfgeschwister ($p < 0,001$). Neben ANDERSEN und PEDERSEN (2016) bestätigen auch VASDAL et al. (2011) und HOY et al. (1995, 1994), dass die Zeit bis zur ersten Kolostrumaufnahme von der Vitalität des Ferkels abhängt. VASDAL et al. (2011) errechneten eine Korrelation von $r = 0,75$ zwischen der Mortalitätsrate und der Zeit bis zur ersten Kolostrumaufnahme ($p < 0,01$). BALZANI et al. (2016) verwendeten einen Vital-Score in Anlehnung an BAXTER et al. (2008), um über das Verhalten die Vitalität des Ferkels zu erfassen und den Einfluss dieser auf die erste Kolostrumaufnahme zu untersuchen. Dabei bestand keine Abhängigkeit zwischen dem Vital-Score und der Zeit bis zur ersten Kolostrumaufnahme ($p = 0,23$). MUNS et al. (2013) bonitierten bei separierten Ferkeln verschiedene Verhaltensweisen, um Rückschlüsse auf die Vitalität und die Anwendbarkeit der einzelnen Bonituren zu untersuchen. Sie fassten die Gesäugestimulation sowie das Kreiseln innerhalb eines Geheges zu einem Parameter zusammen und belegten einen Einfluss auf die Überlebensrate ($p = 0,026$). Zudem weisen MUNS et al. (2013) auf eine gute Anwendbarkeit in der Wissenschaft als auch unter Praxisbedingungen hin.

Die Steigerung der Wurfgröße führt zu erhöhtem Konkurrenzdruck innerhalb des Wurfs, wodurch leichtere Ferkel weniger effiziente Striche erhalten als schwerere (KABALIN et al., 2017; DEVILLERS et al., 2011). Ebenso ist bekannt, dass die Zeitspanne vom ersten Gesäugekontakt des Ferkels bis hin zur ersten Kolostrumaufnahme mit steigender Wurfgröße zunimmt (BALZANI et al., 2016; VASDAL et al., 2011; BAXTER et al., 2008). Dieses Phänomen lässt sich durch die zunehmenden Rangkämpfe der Ferkel auf Grund der geringeren Anzahl zur Verfügung stehender Zitzen mit steigender Wurfgröße erklären (DEVILLERS et al., 2016; VASDAL et al., 2011). Die Gesäugemassage vor und nach der Milchinjektion steigt mit zunehmender Wurfgröße ($p = 0,05$; $p < 0,001$) (OCEPEK et al., 2017). Das Intervall zwischen den einzelnen Saugakten nimmt bei steigender Anzahl lebend geborener Ferkel

pro Wurf zu und der Saugerfolg des einzelnen Ferkels ab ($p=0,018$; $p<0,001$) (OCEPEK et al., 2017). Zudem stellten OCEPEK et al. (2017) fest, dass weniger Ferkel zwei Zitzen für sich beanspruchen ($p<0,001$). In Folge dessen erreichen Ferkel, die nur eine Zitze während des Saugaktes nutzen, geringere Zunahmen (ILLMANN et al., 2007).

3. Diskussion

In Bezug auf die Ferkelvitalität werden verschiedene Definitionen verwendet, die vornehmlich auf das Überleben in der Saugferkelphase gerichtet sind. Grundsätzlich ist die Vitalität eines Ferkels durch seine genetische Robustheit festgelegt. Das betriebliche Management ist ein entscheidender Faktor hinsichtlich der Saugferkelverluste (EDWARDS und BAXTER 2015; KILBRIDE et al., 2014) und modifiziert mit den verbundenen Umweltfaktoren die Ferkelvitalität. Dementsprechend determiniert die Genetik die Vitalität eines Ferkels, die sich in dessen Anpassungsfähigkeit an die gegebene Umwelt äußert. Ein vitales Ferkel soll über das Absetzen hinaus, ohne ein überdurchschnittliches Management, unempfindlich gegen äußere Einflüsse sein und sich zu einem frohwüchsigen Schwein entwickeln. Die Verbesserung der Vitalität des einzelnen Ferkels ist eine Maßnahme, um in großen Würfen stagnierende oder sinkende Mortalitätsraten zu erreichen. Grundvoraussetzungen sind die einheitliche, standardisierte Erfassung der Vitalitätsmerkmale und deren gezielte Selektion. Während der APGAR-Score in der Humanmedizin gut etabliert ist, hat sich bisher keine Modifizierung dieses Scores zur Beurteilung der Ferkelvitalität in der Praxis durchgesetzt. Dieses ist auf die aufwändige, kostenintensive und nicht einheitliche Durchführung der Merkmalserfassung zurückzuführen.

Eine Vielzahl an Studien (CALDERÓN DÍAZ et al., 2017; DECLERCK et al., 2016; HALES et al., 2013; BAXTER et al., 2008) bestätigen, dass Ferkel mit einem höheren Geburtsgewicht seltener verenden. Diese Ferkel verfügen über eine gewisse Robustheit und Adaptionfähigkeit gegenüber Umwelteinflüssen. Sie können ihre Körpertemperatur besser halten und neigen auf Grund der höheren Kolostrumaufnahme weniger dazu, nach der Geburt auszukühlen. Das Geburtsgewicht und die Körpertemperatur sind metrisch erfassbare Merkmale, mit denen die Vitalität auch unter Praxisbedingungen schnell erfasst werden kann. Die Körpertemperatur wird am häufigsten mittels der Rektalmessung erhoben (NUNTAPAITOON et al., 2017; AMDI et al., 2016; PANZARDI et al., 2013; BAXTER et al., 2008; HERPIN et al., 1996; HOY et al., 1995). Vor dem Hintergrund des Tierwohls gilt es, weniger invasive Messmethoden zu untersuchen, die die Rektalmessung in Zukunft ersetzen können. Neben der Infrarotmessung ist eine Messung mittels eines Ohrthermometers aus der Humanmedizin denkbar. Vitalitätsparameter wie die Herzfrequenz, der Sauerstoffgehalt im Blut und Blutparameter wie Glucose oder die IgG-Konzentration sind ebenfalls metrisch messbar.

Dennoch ist die Erfassung invasiv, sollte nur durch den Tierarzt und bei Vorliegen eines triftigen Grundes vorgenommen werden. Eine Alternative stellt die Erfassung der Geburtsreihenfolge dar. Ferkel, die zum Ende der Austreibungsphase geboren werden, sind den andauernden Uteruskontraktionen ausgesetzt (PANZARDI et al., 2013; HERPIN et al., 1996), nehmen weniger Kolostrum auf (DIVIDICH et al., 2017) und haben ein geringeres Geburtsgewicht (KITKHA et al., 2017). Dementsprechend wirkt sich die Reihenfolge der Geburt auf die Vitalität des Ferkels aus. DIVIDICH et al. (2017) sehen auf Grund der gleichen Mortalitätsraten keinen Zusammenhang zwischen der Geburtsreihenfolge und der Ferkelvitalität, obwohl sich die IgG-Serum-Konzentration signifikant unterschied ($p < 0,01$). Naheliegender ist eine Unterschätzung des Effektes der Mortalität, zumal DIVIDICH et al. (2017) nicht den gesamten Wurf, sondern ausschließlich die zwei zuerst geborenen und die zwei zuletzt geborenen Ferkel berücksichtigten. Der Zustand der Nabelschnur kann als einfaches binäres Merkmal definiert werden und wird auf Grund der Assoziation zur Mortalität als belastbarer Vitalitätsparameter angesehen (PANZARDI et al., 2013; ROOTWELT et al., 2013; ZALESKI und HACKER 1993b). Die Anwendbarkeit dieses Parameters ist kritisch zu hinterfragen. Risse und Läsionen sind teilweise schwer zu erkennen zudem ist der Aufwand der Erfassung und der dabei entstehende Stress für das Tier nicht unerheblich. Dagegen sind die Hautfarbe des Ferkels sowie das Vorhandensein einer IUGR-Kopfform gut erkennbar und ein Berühren des Ferkels ist nicht zwingend erforderlich. Eine vorgegebene Farbskalierung ermöglicht die eindeutige Zuordnung der Hautfarbe in blass, roséfarben oder zyanotisch (NUNTAPAITOON et al., 2017; PANZARDI et al., 2013).

Die Erfassung des Saugferkelverhaltens ist auf Grund der direkt- oder kameraunterstützten Beobachtung mit erheblichem Zeit- oder technischem Aufwand behaftet. Das Ferkel wird dagegen wenig bis gar nicht durch die Erhebung der Verhaltensmerkmale beeinflusst. Eine geringere Validität im Vergleich zu physiologisch, metrischen Parametern ist dabei nicht zu vernachlässigen. Eine klare Definition der einzelnen Verhaltensparameter, wie in den Untersuchungen von ANDERSEN und PEDERSEN (2016), MUNS et al. (2013) und VASDAL et al. (2011) ist positiv zu bewerten und führt zu reproduzierbaren Messungen. Das Merkmal „erster Stehversuch“ sehen NUNTAPAITOON et al. (2017) und PANZARDI et al. (2013) als aussagekräftig an, da eine Assoziation zur Mortalitätsrate bestand ($p < 0,001$; $p < 0,05$). Der erste Stehversuch unterscheidet sich hinsichtlich seiner Definition vom ersten Stehen des Ferkels, was dazu führt, dass das Ergebnis von LEENHOUWERS et al. (2001) nicht direkt vergleichbar mit denen von NUNTAPAITOON et al. (2017) und PANZARDI et al. (2013) ist. Ein Ferkel, welches versucht seinen Rumpf mit Hilfe seiner Beine vom Boden abzustützen und aufzustehen ist deutlich zu erkennen. Hingegen sollte das erste Stehen eine definierte Zeit betragen, um das beobachtete Verhalten eindeutig dem ersten Stehen zuordnen zu können. Dieses Vorgehen fehlt in der Untersuchung von LEENHOUWERS et al. (2001).

Die Ergebnisse von DECLERCK et al. (2016), ANDERSEN und PEDERSEN (2016), DECALUWÉ et al. (2014), VASDAL et al. (2011) und HOY et al. (1995, 1994), die die Zeit bis zur ersten Kolostrumaufnahme als repräsentatives Vitalitätsmerkmal ansehen, unterstützen die Erkenntnisse von NUNTAPAITOON et al. (2017) und PANZARDI et al. (2013). Ferkel, die schneller die ersten Stehversuche tätigen, sind schneller am Gesäuge und nehmen früher Kolostrum auf. Sie leiden seltener an Hypothermie und Hunger, zudem ist ihr Mortalitätsrisiko niedriger.

Der Einfluss der Wurfgröße auf die Vitalität des einzelnen Ferkels ist umfangreich untersucht worden (OCEPEK et al., 2017; PANDOLFI et al., 2017; KIELLAND et al., 2015; ANDERSEN et al., 2011; BEAULIEU et al., 2010). Aus Sicht des Tierschutzes ist die Zucht gegen eine steigende Wurfgröße eine Möglichkeit, der Problematik zu begegnen. Die Umsetzung erweist sich auf Grund der damit verbundenen ungünstigeren Ausnutzung der Produktionskosten und der wirtschaftlichen Lage als schwierig. Dagegen ist eine Verbesserung der gegebenen Faktoren ein Ansatz, der in der Praxis umgesetzt wird. Die züchterische Bearbeitung des Geburtsgewichtes und dessen Varianz innerhalb eines Wurfs (COSTERMANS et al., 2017; SELL-KUBIAK et al., 2015; WITTENBURG et al., 2008) führt zur Verbesserung der allgemeinen Überlebensfähigkeit des Ferkels. Der Zusammenhang zwischen der Beanspruchung von mehreren Zitzen durch ein Ferkel und der Wurfgröße sowie der produzierten Kolostrummenge weist darauf hin, dass die Zahl an funktionsfähigen Zitzen ein weiterer wichtiger Faktor zur Entzerrung der Problematik ist. HOY (2016) empfiehlt 15 bis 16 funktionsfähige Zitzen. Da nicht alle vorhandenen Zitzen gleichermaßen zum Saugerfolg beitragen (BALZANI et al., 2016; OCEPEK et al., 2016; VASDAL und ANDERSEN 2012), sind zusätzliche Managementmaßnahmen wie das Einsetzen von Ammen oder das Bereitstellen von Ferkeltassen sinnvoll. Dennoch sind die tierschutzrelevanten Kritikpunkte nicht gelöst. Bisher gibt es keine einheitliche Grundlage, nach der die Vitalität der Ferkel erfasst und entsprechend züchterisch bearbeitet wird. Es empfiehlt sich ein einheitliches Scoring-System zur systematischen Erfassung ausgewählter Vitalitätsmerkmale. Die Merkmale müssen aussagekräftig, unter Praxisbedingungen einfach anzuwenden und aus Sicht des Tierwohls vertretbar sein. Vor diesem Hintergrund sind das Geburtsgewicht, die Körpertemperatur und die Hautfarbe besonders geeignet. Die so erhobenen Daten können in das Zuchtprogramm integriert werden und ermöglichen zielgerichtete Selektionsentscheidungen. Zudem werden schwächere Ferkel schneller identifiziert und durch zusätzliches Management unterstützt, wodurch eine Senkung der Mortalitätsraten erreicht werden kann.

4. Schlussfolgerungen

Ein Ferkel, welches ohne überdurchschnittliches Management, zu einem frohwüchsigen Mastschwein heranwächst und bis zur Schlachtung überlebt, kann als vital bezeichnet werden. Die züchterische Bearbeitung des Geburtsgewichtes und dessen Varianz innerhalb eines Wurfs führt zur Verbesserung der Überlebensfähigkeit des Ferkels, dennoch steht die Wurfgröße unter Tierschutzaspekten in der Kritik. Eine direkte Berücksichtigung der Vitalität des einzelnen Ferkels gewinnt daher zunehmend an Bedeutung. Das Geburtsgewicht, die Körpertemperatur und die Hautfarbe sind auf Grund ihrer Validität und Anwendbarkeit besonders geeignet, um sie unter Praxisbedingungen in einem einheitlichen Score zu erfassen. Die Ferkelvitalität wird unmittelbar nach der Geburt quantifizierbar. Schwächere Ferkel werden schneller identifiziert und entsprechend unterstützt. Selektionsentscheidungen werden zielgerichteter getroffen und umgesetzt. Ebenso ist eine ausreichende Versorgung mit Kolostrum sicherzustellen. Bei der Selektion der Sau ist auf ein Gesäuge zu achten, welches 15 bis 16 funktionsfähige Zitzen aufweist. Zudem sollten Ferkeltassen bereitstehen oder das Bilden von Ammen vorgenommen werden. Grundsätzlich gilt es die Wurfgröße nicht weiter zu vergrößern, sondern die vorhandenen Faktoren zu verbessern, so dass die Wurfgröße den anzulegenden Tierwohl- und Tierschutzstandards genügt.

Literatur

- AGBOKOUNOU, A. M., G. S. AHOUNOU, Z. BENGALY, I. YOUSAO ABDOU KARIM, G. APOLLINAIRE MENSAH, B. KOUTINHOUI und J.-L. HORNICK (2017): Colostrum immune quality of local sow breed in Benin: Growth, survival and acquisition of passive immunity in new-born piglet. *African Journal of Biotechnology* **16**, 842–851.
- AMDI, C., M. V. KLARLUND, J. HALES, T. THYMANN und C. F. HANSEN (2016): Intrauterine growth-restricted piglets have similar gastric emptying rates but lower rectal temperatures and altered blood values when compared with normal-weight piglets at birth. *Journal of Animal Science* **94**, 4583–4590.
- AMDI, C., U. KROGH, C. FLUMMER, N. OKSBJERG, C. F. HANSEN und P. K. THEIL (2013): Intrauterine growth restricted piglets defined by their head shape ingest insufficient amounts of colostrum. *Journal of Animal Science* **91**, 5605–5613.
- ANDERSEN, H. M.-L. und L. J. PEDERSEN (2016): Effect of radiant heat at the birth site in farrowing crates on hypothermia and behaviour in neonatal piglets. *Animal* **10**, 128–134.
- ANDERSEN, I. L., E. NÆVDAL und K. E. BØE (2011): Maternal investment, sibling competition, and offspring survival with increasing litter size and parity in pigs (*Sus scrofa*). *Behavioral Ecology and Sociobiology* **65**, 1159–1167.
- APGAR, V. (1953): A proposal for a new method of evaluation of the newborn infant. *Current Researches in Anesthesia and Analgesia* **32**, 260–267.
- BALZANI, A., H. J. CORDELL und S. A. EDWARDS (2016): Relationship of sow udder morphology with piglet suckling behavior and teat access. *Theriogenology* **86**, 1913–1920.

- BAXTER, E. M., K. M. D. RUTHERFORD, R. B. D'EATH, G. ARNOTT, S. P. TURNER, P. SANDØE, V. A. MOUSTSEN, F. THORUP, S. A. EDWARDS und A. B. LAWRENCE (2013): The welfare implications of large litter size in the domestic pig II: management factors. *Animal Welfare* **22**, 219–238.
- BAXTER, E. M., S. JARVIS, R. B. D'EATH, D. W. ROSS, S. K. ROBSON, M. FARISH, I. M. NEVISON, A. B. LAWRENCE und S. A. EDWARDS (2008): Investigating the behavioural and physiological indicators of neonatal survival in pigs. *Theriogenology* **69**, 773–783.
- BEAULIEU, A. D., J. L. AALHUS, N. H. WILLIAMS und J. F. PATIENCE (2010): Impact of piglet birth weight, birth order, and litter size on subsequent growth performance, carcass quality, muscle composition, and eating quality of pork. *Journal of Animal Science* **88**, 2767–2778.
- BECKER, U., C. JUST, R. SAUERMOST, A. BOGENRIEDER, K.-G. COLLATZ, H. KÖSSEL und G. OSCHKE (1987): *Lexikon der Biologie* **8**. Harder Freiburg, Breisgau.
- BIDARIMATH, M. und C. TAYADE (2017): Pregnancy and spontaneous fetal loss: A pig perspective. *Molecular Reproduction and Development* **2017**, 1–14.
- BJÖRKMAN, S., C. OLIVIERO, P. J. RAJALA-SCHULTZ, N. M. SOEDE und O. A. T. PELTONIEMI (2017): The effect of litter size, parity and farrowing duration on placenta expulsion and retention in sows. *Theriogenology* **92**, 36–44.
- BRÜSSOW, K.-P. und M. WÄHNER (2008): Biologische Potential in der Sauenfruchtbarkeit. *Züchtungskunde* **80** (5), 370–377.
- CABRERA, R. A., X. LIN, J. M. CAMPBELL, A. J. MOESER und J. ODLE (2012): Influence of birth order, birth weight, colostrum and serum immunoglobulin G on neonatal piglet survival. *Journal of Animal Science and Biotechnology* **3**, Article 42.
- CALDARA, F. R., L. S. DOS SANTOS, S. T. MACHADO, M. MOI, I. DE ALENCAR NÄÄS, L. FOPPA, R. G. GARCIA und R. DE KÁSSIA SILVA DOS SANTOS (2014): Piglets' surface temperature change at different weights at birth. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **27**, 431–438.
- CALDERÓN DÍAZ, J. A., L. A. BOYLE, A. DIANA, F. C. LEONARD, J. P. MORIARTY, M. C. MCELROY, S. MCGETTRICK, D. KELLIHER und E. GARCÍA MANZANILLA (2017): Early life indicators predict mortality, illness, reduced welfare and carcass characteristics in finisher pigs. *Preventive Veterinary Medicine* **146**, 94–102.
- CASELLAS, J., W. M. RAUW, J. PIEDRAFITA, A. SÁNCHEZ, M. ARQUÉ und J. L. NOGUERA (2004): Viability of Iberian × Meishan F2 newborn pigs. I. Analysis of physiological and vitality variables. *Journal of Animal Science* **82**, 1919–1924.
- CHUNG, T., W. JUNG, E. NAM, J. KIM, S. PARK und C.-Y. HWANG (2010): Comparison of rectal and infrared thermometry for obtaining body temperature of gnotobiotic piglets in conventional portable germ free facility. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **23**, 1364–1368.
- COSTERMANS, N. G. J., E. F. KNOL, B. KEMP, J. KEIJER, N. M. SOEDE und K. J. TEERDS (2017): Follicular development of weaned sows in relation to estimated breeding value for within-litter variation in piglet birth weight. 10th international conference on pig reproduction **41**.
- DECALUWÉ, R., D. MAES, B. WUYTS, A. COOLS, S. PIEPERS und G. P. J. JANSSENS (2014): Piglets' colostrum intake associates with daily weight gain and survival until weaning. *Livestock Science* **162**, 185–192.
- DECLERCK, I., S. SARRAZIN, J. DEWULF und D. MAES (2017): Sow and piglet factors determining variation of colostrum intake between and within litters. *Animal* **11**, 1336–1343.
- DECLERCK, I., J. DEWULF, S. SARRAZIN und D. MAES (2016): Long-term effects of colostrum intake in piglet mortality and performance. *Journal of Animal Science* **94**, 1633–1643.

- DEVILLERS, N., D. GIRAUD und C. FARMER (2016): Neonatal piglets are able to differentiate more productive from less productive teats. *Applied Animal Behaviour Science* **174**, 24–31.
- DEVILLERS, N., J. LE DIVIDICH und A. PRUNIER (2011): Influence of colostrum intake on piglet survival and immunity. *Animal* **5**, 1605–1612.
- DEVILLERS, N., C. FARMER, J. LE DIVIDICH und A. PRUNIER (2007): Variability of colostrum yield and colostrum intake in pigs. *Animal* **1**, 1033–1041.
- DIVIDICH, J. L., R. CHARNECA und F. THOMAS (2017): Relationship between birth order, birth weight, colostrum intake, acquisition of passive immunity and pre-weaning mortality of piglets. *Spanish Journal of Agricultural Research* **15**, 1–10.
- DONG, L., X. ZHONG, J. HE, L. ZHANG, K. BAI, W. XU, T. WANG und X. HUANG (2016): Supplementation of tributyrin improves the growth and intestinal digestive and barrier functions in intrauterine growth-restricted piglets. *Clinical Nutrition* **35**, 399–407.
- EDWARDS, S. A (2002): Perinatal mortality in the pig: environmental or physiological solutions? *Livestock Production Science* **78**, 3–12.
- EDWARDS, S. A. und E. M. BAXTER (2015): 11. Piglet mortality: causes and prevention. Pages 253–278 in C. FARMER, editor. *The gestating and lactating sow*. Wageningen Academic Publishers, Netherlands.
- FIX, J. S., J. P. CASSADY, J. W. HOLL, W. O. HERRING, M. S. CULBERTSON und M. T. SEE (2010): Effect of piglet birth weight on survival and quality of commercial market swine. *Livestock Science* **132**, 98–106.
- FOXCROFT, G. R., W. T. DIXON, S. NOVAK, C. T. PUTMAN, S. C. TOWN und M. D. A. VINSKY (2006): The biological basis for prenatal programming of postnatal performance in pigs. *Journal of Animal Science* **84**, 105–112.
- GONZALEZ-AÑOVER, P., T. ENCINAS, L. TORRES-ROVIRA, P. PALLARES, J. MUÑOZ-FRUTOS, E. GOMEZ-IZQUIERDO, R. SANCHEZ-SANCHEZ und A. GONZALEZ-BULNES (2011): Ovulation rate, embryo mortality and intrauterine growth retardation in obese swine with gene polymorphisms for leptin and melanocortin receptors. *Theriogenology* **75**, 34–41.
- HALES, J., V. A. MOUSTSEN, M. B. F. NIELSEN und C. F. HANSEN (2013): Individual physical characteristics of neonatal piglets affect preweaning survival of piglets born in a noncrated system. *Journal of Animal Science* **91**, 4991–5003.
- HAO, X., G. PLASTOW, C. ZHANG, S. XU, Z. HU, T. YANG, K. WANG, H. YANG, X. YIN, S. LIU, Z. WANG, Z. WANG und S. ZHANG (2017): Genome-wide association study identifies candidate genes for piglet splay leg syndrome in different populations. *BMC Genetics* **18**, 1–8.
- HERPIN, P., J. LE DIVIDICH, J. C. HULIN, M. FILLAUT, F. DE MARCO und R. BERTIN (1996): Effects of the level of asphyxia during delivery on viability at birth and early postnatal vitality of newborn pigs. *Journal of Animal Science* **74**, 2067–2075.
- HOY, S. (2016): Zucht auf höhere Ferkelzahlen aus Sicht des Tierschutzes. *Nutztierschutztagung Raumberg-Gumpenstein 2016*: Raumberg, 49–45.
- HOY, S., C. LUTTER, B. PUPPE und M. WÄHNER (1997): The influence of early postnatal piglet vitality on liveweight gain and mortality. *Animal Research and Development* **45**, 89–101.
- HOY, S., C. LUTTER, B. PUPPE und M. WÄHNER (1995): Zusammenhänge zwischen der Vitalität neugeborener Ferkel, der Saugordnung, Mortalität und der Lebendmasseentwicklung bis zum Absetzen. *Berliner und Münchener tierärztliche Wochenschrift* **108**, 224–225.
- HOY, S., C. LUTTER, M. WÄHNER und B. PUPPE (1994): Zum Einfluss der Geburtsmasse auf die frühe postnatale Vitalität von Ferkeln. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* **101**, 393–396.

- ILLMANN, G., Z. POKORNÁ und M. ŠPINKA (2007): Allosuckling in domestic pigs: Teat acquisition strategy and consequences. *Applied Animal Behaviour Science* **106**, 26–38.
- INOUE, H., M. OCHIAI, K. YASUOKA, K. TANAKA, H. KURATA, J. FUJIYOSHI, Y. MATSUSHITA, S. SUGA, K. NONAKA, T. TAGUCHI, K. KATO und S. OHGA (2017): Early Mortality and Morbidity in Infants with Birth Weight of 500 Grams or Less in Japan. *The Journal of Pediatrics* **190**, 112–117.
- JARA, A. L., J. M. HANSON, J. D. GABBARD, S. K. JOHNSON, E. T. REGISTER, B. HE und S. M. TOMPKINS (2016): Comparison of Microchip Transponder and Noncontact Infrared Thermometry with Rectal Thermometry in Domestic Swine (*Sus scrofa domestica*). *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science* **55**, 588–593.
- JUNGHANS, C., (1992): Methodische Untersuchungen zur frühen postnatalen Vitalitätsbeurteilung beim Schwein. Diss. Univ. Leipzig.
- KABALIN, A. E., T. BALENOVIĆ, M. ŠPERANDA, S. MILINKOVIĆ-TUR, I. ŠTOKOVIĆ, S. MENČIK, M. MAURIĆ und Ž. PAVIČIĆ (2017): Serum biochemical parameters in suckling piglets with low and average birth mass. *Veterinarski Arhiv* **87**, 171–184.
- KIELLAND, C., V. ROOTWELT, O. REKSEN und T. FRAMSTAD (2015): The association between immunoglobulin G in sow colostrum and piglet plasma. *Journal of Animal Science* **93**, 4453–4462.
- KILBRIDE, A. L., M. MENDEL, P. STATHAM, S. HELD, M. HARRIS, J. N. MARCHANT-FORDE, H. BOOTH und L. E. GREEN (2014): Risks associated with preweaning mortality in 855 litters on 39 commercial outdoor pig farms in England. *Preventive Veterinary Medicine* **117**, 189–199.
- KITKHA, S., A. BOONSOONGNERN, N. RATANAVANICHROJN, P. JIRAWATTANAPONG und A. PINYOPUMMIN (2017): Effects of the higher parity and litter size on piglet birth weight and survival rate of later born piglets. *The Thai Journal of Veterinary Medicine* **47**, 79–86.
- KLUG, P. (2016): Vitalität bei Bäumen. http://www.arboristik.de/baumpflege_14062016.html. Zugriff 16.09.2017.
- KUMARESAN, A. (2013): Fetal abnormalities in swine: A study under field and organized farm conditions. *Indian Journal of Animal Reproduction* **34**, 43–47.
- LEENHOUWERS, J. I., DE A. JÚNIOR, C. A, E. F. KNOL und T. VAN DER LENDE (2001): Progress of farrowing and early postnatal pig behavior in relation to genetic merit for pig survival. *Journal of Animal Science* **79**, 1416–1422.
- LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN (2017): Schweinereport 2017. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 1–14.
- LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN (2010): Schweinereport 2010. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 1–8.
- MAGNABOSCO, D., E. C. P. CUNHA, M. L. BERNARDI, I. WENTZ und F. P. BORTOLOZZO (2015): impact of the birth weight of landrace x large white dam line gilts on mortality, culling and growth performance until selection for breeding herd. *Acta Scientiae Veterinariae* **43**, 1–8.
- MAIER, R. F. und B. STILLER (2011): Neugeborenenintensivmedizin: Evidenz und Erfahrung, 8. Auflage, Springer Medizin, Berlin.
- MALMKVIST, J., L. J. PEDERSEN, B. M. DAMGAARD, K. THODBERG, E. JØRGENSEN und R. LABOURIAU (2006): Does floor heating around parturition affect the vitality of piglets born to loose housed sows? *Applied Animal Behaviour Science* **99**, 88–105.

- MARANDU, N., T. E. HALIMANI, M. CHIMONYO, A. SHONIWA und T. MUTIBVU (2015): Effect of within-litter birth weight variation on piglet survival and pre-weaning weight gain in a commercial herd. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* **116**, 123–129.
- MERKS, J. W. M., P. K. MATHUR und E. F. KNOL (2012): New phenotypes for new breeding goals in pigs. *Animal* **6**, 535–543.
- MILLER, S. L., P. S. HUPPI und C. MALLARD (2016): The consequences of fetal growth restriction on brain structure and neurodevelopmental outcome. *The Journal of Physiology* **594**, 807–823.
- MILLIGAN, B. N., D. FRASER und D. L. KRAMER (2002): Within-litter birth weight variation in the domestic pig and its relation to pre-weaning survival, weight gain, and variation in weaning weights. *Livestock Production Science* **76**, 181–191.
- MOORS, E. (2005): Vergleichende Untersuchung von Schafen in ganzjähriger Freiland- und Winterstallhaltung unter besonderer Berücksichtigung der Mütterlichkeit, Vitalität und Parasiteneiausscheidung. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- MOREIRA, L. P., M. B. MENEGAT, G. P. BARROS, M. L. BERNARDI, I. WENTZ und F. P. BORTOLOZZO (2017): Effects of colostrum, and protein and energy supplementation on survival and performance of low-birth-weight piglets. *Livestock Science* **202**, 188–193.
- MOTA-ROJAS, D., R. FIERRO, P. ROLDAN-SANTIAGO, H. OROZCO-GREGORIO, M. GONZALEZ-LOZANO, H. BONILLA, R. MARTINEZ-RODRIGUEZ, R. GARCIA-HERRERA, P. MORA-MEDINA, S. FLORES-PEINADO, M. SANCHEZ und R. RAMIREZ-NECOECHEA (2015): Outcomes of gestation length in relation to farrowing performance in sows and daily weight gain and metabolic profiles in piglets. *Animal Production Science* **55**, 93–100.
- MOTA-ROJAS, D., D. VILLANUEVA-GARCÍA, R. HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, P. ROLDAN-SANTIAGO, R. MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, P. MORA-MEDINA, B. GONZÁLEZ-MENESES, M. SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ und M. E. TRUJILLO-ORTEGA (2012): Assessment of the vitality of the newborn: An overview. *Scientific Research and Essays* **7**, 712–718.
- MUNS, R., M. NUNTAPAITOON und P. TUMMARUK (2017): Effect of oral supplementation with different energy boosters in newborn piglets on pre-weaning mortality, growth and serological levels of IGF-I and IgG. *Journal of Animal Science* **95**, 353–360.
- MUNS, R., M. NUNTAPAITOON und P. TUMMARUK (2016): Non-infectious causes of pre-weaning mortality in piglets. *Livestock Science* **184**, 46–57.
- MUNS, R., E. G. MANZANILLA, C. SOL, X. MANTECA und J. GASA (2013): Piglet behavior as a measure of vitality and its influence on piglet survival and growth during lactation. *Journal of Animal Science* **91**, 1838–1843.
- NUNTAPAITOON, M., R. MUNS und P. TUMMARUK (2017): Newborn traits associated with pre-weaning growth and survival in piglets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **31**, 237–244.
- NUNTAPAITOON, M. und P. TUMMARUK (2015): Piglet preweaning mortality in a commercial swine herd in Thailand. *Tropical Animal Health and Production* **47**, 1539–1546.
- OCEPEK, M., R. C. NEWBERRY und I. L. ANDERSEN (2017): Trade-offs between litter size and offspring fitness in domestic pigs subjected to different genetic selection pressures. *Applied Animal Behaviour Science* **193**, 7–14.
- OCEPEK, M., I. ANDERSEN-RANBERG, S. A. EDWARDS und I. L. ANDERSEN (2016): Udder characteristics of importance for teat use in purebred and crossbred pigs¹. *Journal of Animal Science* **94**, 780–788.

- PANDOLFI, F., S. A. EDWARDS, F. ROBERT und I. KYRIAZAKIS (2017): Risk factors associated with the different categories of piglet perinatal mortality in French farms. *Preventive Veterinary Medicine* **137**, 1–12.
- PANZARDI, A., M. L. BERNARDI, A. P. MELLAGI, T. BIERHALS, F. P. BORTOLOZZO und I. WENTZ (2013): Newborn piglet traits associated with survival and growth performance until weaning. *Preventive Veterinary Medicine* **110**, 206–213.
- PEDERSEN, L. J., J. MALMKVIST, T. KAMMERSGAARD und E. JØRGENSEN (2013): Avoiding hypothermia in neonatal pigs: Effect of duration of floor heating at different room temperatures. *Journal of Animal Science* **91**, 425–432.
- PEDERSEN, L. J., P. BERG, G. JORGENSEN und I. L. ANDERSEN (2011): Neonatal piglet traits of importance for survival in crates and indoor pens. *Journal of Animal Science* **89**, 1207–1218.
- PETRY, A., W. MCGILVRAY, A. R. RAKHSHANDEH und A. RAKHSHANDEH (2017): Technical note: Assessment of an alternative technique for measuring body temperature in pigs. *Journal of Animal Science* **95**, 3270–3274.
- QUESNEL, H., N. QUINIOU, H. ROY, A. LOTTIN, S. BOULOT und F. GONDRET (2014): Supplying dextrose before insemination and L-arginine during the last third of pregnancy in sow diets: Effects on within-litter variation of piglet birth weight. *Journal of Animal Science* **92**, 1445–1450.
- QUESNEL, H., C. FARMER und N. DEVILLERS (2012): Colostrum intake: Influence on piglet performance and factors of variation. *Livestock Science* **146**, 105–114.
- QUINIOU, N., J. DAGORN und D. GAUDRÉ (2002): Variation of piglets' birth weight and consequences on subsequent performance. *Livestock Production Science* **78**, 63–70.
- RANDALL, G. C. B. (1971): The relationship of arterial blood pH and pCO₂ to the viability of the newborn piglet. *Canadian Journal of Comparative Medicine* **35**, 141–146.
- ROOKE, J. A. und I. M. BLAND (2002): The acquisition of passive immunity in the new-born piglet. *Livestock Production Science* **78**, 13–23.
- ROOTWELT, V., O. REKSEN, W. FARSTAD und T. FRAMSTAD (2013): Postpartum deaths: Piglet, placental, and umbilical characteristics. *Journal of Animal Science* **91**, 2647–2656.
- ROZA, S. J., E. A. P. STEEGERS, B. O. VERBURG, V. W. V. JADDOE, H. A. MOLL, A. HOFMAN, F. C. VERHULST und H. TIEMEIER (2008): What is spared by fetal brain-sparing? Fetal circulatory redistribution and behavioral problems in the General Population. *American Journal of Epidemiology* **168**, 1145–1152.
- RUTHERFORD, K. M. D., E. M. BAXTER, R. B. D'EATH, S. P. TURNER, G. ARNOTT, R. ROEHE, B. ASK, P. SANDØE, V. MOUSTSEN, F. THORUP, S. EDWARDS, P. BERG und A. LAWRENCE (2013): The welfare implications of large litter size in the domestic pig I: biological factors. *Animal Welfare* **22**, 199–218.
- SAUERMOST, R., D. FREUDIG, M. BONK, A. SENDTKO, H. GENAUST und C. GACK (1999): *Vitalität - Lexikon der Biologie*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- SCHULZ, J., B. PLISCHKE und H. BRAUN (1997): Sucking and drinking behavior as criteria of vitality in newborn calves. *Tierärztliche Praxis* **25**, 116–122.
- SELL-KUBIAK, E., S. WANG, E. F. KNOL und H. A. MULDER (2015): Genetic analysis of within-litter variation in piglets' birth weight using genomic or pedigree relationship matrices. *Journal of Animal Science* **93**, 1471–1480.
- TUCHSCHERER, M., B. PUPPE, A. TUCHSCHERER und U. TIEMANN (2000): Early identification of neonates at risk: Traits of newborn piglets with respect to survival. *Theriogenology* **54**, 371–388.

- VASDAL, G. und I. L. ANDERSEN (2012): A note on teat accessibility and sow parity - consequences for newborn piglets. *Livestock Science* **146**, 91–94.
- VASDAL, G., I. ØSTENSEN, M. MELIŠOVÁ, B. BOZDĚCHOVÁ, G. ILLMANN und I. L. ANDERSEN (2011): Management routines at the time of farrowing—effects on teat success and postnatal piglet mortality from loose housed sows. *Livestock Science* **136**, 225–231.
- VÁZQUEZ-GÓMEZ, M., D. VALENT, C. GARCÍA-CONTRERAS, L. ARROYO, C. ÓVILO, B. ISABEL, A. BASSOLS und A. GONZÁLEZ-BULNES (2016): Sex and intrauterine growth restriction modify brain neurotransmitters profile of newborn piglets. *International Journal of Developmental Neuroscience* **55**, 9–14.
- VERONESI, M. C., S. PANZANI, M. FAUSTINI und A. ROTA (2009): An Apgar scoring system for routine assessment of newborn puppy viability and short-term survival prognosis. *Theriogenology* **72**, 401–407.
- VERONESI, M. C., P. RICCABONI, M. FAUSTINI, M. BATTOCCHIO, F. CAIROLI und M. VILLANI (2005): Potential association between placenta features and apgar scores after normal parturition in the thoroughbred horse. *Journal of Animal and Veterinary Advances* **4**, 965–970.
- VAN DER WAAIJ, E. H., W. HAZELEGER, N. M. SOEDE, B. F. A. LAURENSSEN und B. KEMP (2010): Effect of excessive, hormonally induced intrauterine crowding in the gilt on fetal development on day 40 of pregnancy. *Journal of Animal Science* **88**, 2611–2619.
- WIEGERT, J. G., C. GARRISON und M. T. KNAUER (2017): 068 Characterization of birth weight and colostrum intake on piglet survival and piglet quality. *Journal of Animal Science* **95**, 32.
- WIENJES, J. G. M. (2013): Piglet birth weight and litter uniformity: importance of pre-mating nutritional and metabolic conditions. Dissertation, Universität Wageningen.
- WITTENBURG, D., V. GUIARD, F. TEUSCHER und N. REINSCH (2008): Comparison of statistical models to analyse the genetic effect on within-litter variance in pigs. *Animal* **2**, 1559-1568.
- ZALESKI H. M. und R. R. HACKER (1993a): Comparison of viability scoring and blood gas analysis as measures of piglet viability. *Canadian Journal of Animal Science* **73**, 649–653.
- Automatische Updates der Zitationen sind deaktiviert. Um das Literaturverzeichnis anzuzeigen, klicken Sie auf Aktualisieren im Zotero-Reiter.
- ZALESKI, H. M. und R. R. HACKER (1993b): Variables related to the progress of parturition and probability of stillbirth in swine. *Canadian Veterinary Journal* **34**, 109–113.

3.3 Diskussion

Die Wurfgröße und die Anzahl abgesetzter Ferkel sind von großer wirtschaftlicher Bedeutung in der Schweineproduktion. Dabei wird der Grundstein bereits in der Ferkelerzeugung gelegt. Managementfaktoren, die Zyklusphase der Sau sowie die Spermaquantität und -qualität des Ebers bestimmen zunächst über den Erfolg der Trächtigkeit. Neben dem wirtschaftlichen Aspekt, nimmt das Wohlergehen und der Schutz der Tiere in Bezug auf die Wurfgröße einen beachtlichen Stellenwert ein. Steigende Ferkelzahlen pro Wurf haben zu sinkenden und heterogenen Geburtsgewichten sowie einem erhöhten Konkurrenzdruck zwischen den Wurfgeschwistern um eine ausreichende Kolostrumaufnahme geführt (Fix et al., 2010a; Marandu et al., 2015). Die individuelle Vitalität des Ferkels steht im engen Zusammenhang mit diesen Beobachtungen. Nach Becker et al. (1987) ist dies genetisch festgelegt. Übertragen auf die Vitalität des Ferkels, wird diese bereits vor dessen Geburt durch die Genotypen der Elterntiere bestimmt.

Ausgehend von der Vielzahl an Spermien und die vergleichsweise sehr geringe Zahl an Oozyten besteht bereits zum Zeitpunkt der Besamung ein enormer Wettbewerb zwischen den Spermien. Mit größerer Wahrscheinlichkeit werden vitalere Spermien bedingt durch ihre höhere Motilität die Oozyten schneller erreichen und erfolgreich befruchten. Der Erfolg der Fertilisation wird daher auch durch die Spermiovitalität beeinflusst. Negativen Einfluss auf die Spermiovitalität kann insbesondere ein hormonelles Ungleichgewicht haben, das über die Fütterung des Ebers gesteuert wird. Studien von Hansen (2009), Kemp et al. (1989) und Li et al. (2018) belegen dieses. Trotz einheitlicher Fütterungskonzepte in den Besamungsstationen werden allerdings auch saisonbedingte Unterschiede in der Spermaquantität und -qualität beschrieben (Gruhot et al., 2020; Petrocelli et al., 2015; Sancho et al., 2004). Häufiger Auslöser scheint auch hier die reduzierte Futteraufnahme auf Grund von Hitzestress zu sein. Hinzu kommt, dass Eber, die besonders stark nachgefragt sind, im Vergleich zu anderen häufiger abgesamt werden. Insbesondere da bekannt ist, dass ein kürzeres Intervall zwischen den Absamungen zur Beeinträchtigung der Spermaqualität und der damit verbundenen Reduzierung der Spermiovitalität, führt (Bajena et al., 2016; Frangež et al., 2005).

In Deutschland haben sich die Besamungsstationen verpflichtet, die Qualitäts-Anforderungen für Sperma von Besamungsebern, definiert durch den BRS, umzusetzen. Der BRS (2020) definiert $\geq 70\%$ Spermienmotilität und $\leq 25\%$ pathomorphe Veränderungen im Ejakulat als Mindeststandard. Gleiche Anforderungen an die Spermienmotilität und $\leq 20\%$ pathomorphe Veränderungen nennt Knox, (2016) in seiner Übersichtsarbeit. Vor diesem Hintergrund ist zu erwarten, dass das eingesetzte Ebersperma die notwendigen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Besamung erfüllt und unabhängig vom einzelnen Eber zum Trächtigkeitserfolg mit

einer adäquaten Wurfgröße beiträgt. Dennoch kann die hohe Zahl an Spermien pro Portion die *in vivo* Effekte auf die Spermienqualitätsparameter maskieren (Myromslien et al., 2019). Daher, und darüber hinaus bedingt durch eine Vielzahl an Umweltfaktoren, ist ein Rückschluss von der Spermaqualität bei Einhaltung der Mindeststandards auf die Feldfruchtbarkeit nur begrenzt möglich. Weder in den Anforderungen des BRS noch in der Übersichtsarbeiten von Knox (2016) ist ein Grenzwert für DNA-Fragmentationen genannt. Dabei ist das Auftreten von DNA-Fragmentationen hinsichtlich der embryonalen Entwicklung und der resultierenden Wurfgröße ein wichtiger Parameter, der bei der Beurteilung der Spermaqualität mehr Beachtung finden sollte. Zumal je nach untersuchter Eberpopulation etwa zwei bis 14 % der Eber (Martinez, 2005; Myromslien et al., 2019) den Schwellenwert der zwischen zwei und 10 % liegt (Boe-Hansen et al., 2008; Didion et al., 2009; Myromslien et al., 2019) überschreiten. Ähnlich verhält es sich mit dem Gendefekt der Reziproken Translokation. Dieser Gendefekt verursacht zum einen kleine(re) Würfe, zum anderen können Ferkel aus betroffenen Würfen durch die Missbildungen beträchtlich eingeschränkt sein und versterben in der Regel. Somit ist die Reziproke Translokation nicht nur wirtschaftlich, sondern auch aus Sicht des Tierwohls und -schutzes von Bedeutung. Ducos et al. (2007) und Quach et al. (2016) gehen mit 0,5 bis 1,6 % von einer geringen Prävalenz an Chromosomenanomalien, zu denen auch die Reziproke Translokation zählt, in Schweinepopulationen aus. Dieses Ergebnis bedeutet, dass ein bis drei Trägartiere unter 200 Besamungsebern betroffen sind. Ausgehend von 30 Portionen Sperma pro Eber-Ejakulation, etwa zwei Portionen pro Sau und Östrus und einer Fertilisationsrate von etwa 90 % sind ca. 14 bis 41 Würfe betroffen, aber auch 2.660 bis 2.687 Würfe sind nicht betroffen. Daher wird das Auftreten erst relevant, wenn in einer Sauenherde gezielt einzelne Eber, insbesondere auch unter Verwendung von Single-Sire-Belegungen, angepaart werden.

Weiterhin wird die Versorgung und die damit einhergehende Entwicklung und Überlebensfähigkeit des Embryos durch die Sau beeinflusst. Bedingt durch hohe Ovulationsraten und der begrenzten Uteruskapazität, ist eine limitierte Versorgung des einzelnen Embryos zu erklären. Dieser Zusammenhang wurde bereits in Studien von Brüssow und Wähner (2008) sowie van der Waaij et al. (2010) untersucht und bestätigt. Somit konkurrieren die Embryonen um die zur Verfügung stehenden Ressourcen. Bei den mit Nährstoffen und mit Sauerstoff minderversorgten Embryonen ist von einer verringerten Überlebensfähigkeit auszugehen. Diese Embryonen sterben entweder ab oder zeigen eine eingeschränkte Entwicklung. Das Auftreten von IUGR-Ferkeln und heterogenere Geburtsgewichte ist die Folge, womit auch Amdi et al. (2013) und Hales et al. (2013) ihre Ergebnisse hinsichtlich der embryonalen Entwicklung und der steigenden Wurfgröße begründen. IUGR-Ferkel sind weniger vital, wodurch eine verminderte

Konkurrenzfähigkeit zu den Wurfgeschwistern, und wie von Hales et al. (2013) bestätigt, ein fast doppelt so hohes Mortalitätsrisiko besteht. Die Tatsache, dass nicht alle Oozyten zu demselben Zeitpunkt ovuliert werden und das dadurch variierende Intervall von der Besamung bis zur Fertilisation der Oozyte, führt ebenfalls zu unterschiedlichen Voraussetzungen für die entstehenden Embryonen. Aus den spät ovulierten Oozyten gehen die minderentwickelten Embryonen hervor (Xie et al., 1990a, 1990b). In der Folge ist die Überlebens- und Konkurrenzfähigkeit im Vergleich zu den anderen Embryonen deutlich gemindert.

Vor dem Hintergrund der konkurrierenden Embryonen wird deutlich, wie wichtig eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung der Sau ist. Das Fütterungsmanagement in der Laktation, kurz vor der Belegung und bis einschließlich des zweiten Trächtigkeitsdrittels wurde vielfach untersucht (Chen et al., 2012; Costermans et al., 2020; De et al., 2009; Han et al., 2020; Kraeling und Webel, 2015) und einheitlich diskutiert. Hingegen wird die positive Beeinflussung des Geburtsgewichtes, der Wurfhomogenität und der Reduktion der IUGR durch ein Heraufsetzen des Fütterungsniveaus im letzten Trächtigkeitsdrittel (Cerisuelo et al., 2009; Cromwell et al., 1989; Metges et al., 2012) durch neuere Erkenntnisse von Mallmann et al. (2018) in Frage gestellt. Bedingt durch den Zuchtfortschritt sind hochleistende Sauen in ihrer Futtermittelverwertung deutlich effizienter geworden. Gleichzeitig hat sich der Nährstoffbedarf der Sau erhöht. Vor diesem Hintergrund ist die Erhöhung des Fütterungsniveaus im letzten Trächtigkeitsdrittel hinsichtlich der fetalen Entwicklung und der resultierenden Überkonditionierung der Sau zu überdenken. Wichtiger scheint die an den Nährstoffbedarf der Sau angepasste Fütterung.

Reduzierte Wurfgrößen finden ihren Ursprung in verminderten Fertilisationserfolgen (reduzierte Ovulationsraten, verminderte Spermienvitalität, unangemessener Besamungszeitpunkt) und sind auf Grund von höherer Embryonalsterblichkeit auch durch hohe Umgebungstemperaturen im Sommer zu erklären. Es ist davon auszugehen, dass die beschriebene verminderte Futteraufnahme der Sau bei hohen Umgebungstemperaturen (Koketsu et al., 2017), die Nährstoffversorgung der Embryonen bzw. Föten einschränkt, woraus reduzierte und heterogenere Geburtsgewichte resultieren. Die dadurch verminderte Ferkelvitalität erklärt die reduzierten Wachstumsraten und höheren Mortalitäten. Zumal bekannt ist, dass die Kolostrum- und Milchaufnahme dieser Ferkel ebenfalls eingeschränkt sind (Amavizca-Nazar et al., 2019; Silva et al., 2009).

Ein weiterer beschriebener Einflussfaktor auf das Ferkel ist die Einleitung der Geburt. Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen bietet sie Vorteile, aber aus physiologischer Sicht belegen zahlreiche Studien (Boonraungrod et al., 2018; Jović et al., 2016; Sánchez-Aparicio et al., 2009)

negative Auswirkungen auf die Ferkelvitalität. Diese konnten Wehrend et al. (2005) hingegen nicht nachweisen. Die unterschiedlichen Ergebnisse können durch die verschiedenen Vitalitätsparameter (Geburtsgewicht vs. pH-Wert der Nabelschnur) bedingt sein. Allerdings ist das Geburtsgewicht auf Grund der Validität und der bekannten Assoziation zur weiteren Entwicklung als repräsentativ anzusehen. Unterstützt wird dieses Erkenntnis durch die Ergebnisse von Boonraungrod et al. (2018), die das Geburtsgewicht in Kombination mit der Rektaltemperatur und der Kolostrumaufnahme als Vitalitätsparameter anwandten und mit Hilfe dieser eine verminderte Ferkelvitalität als Folge der Geburtseinleitung erklären. Gleichzeitig besteht bei der Anwendung der Geburtseinleitung 24 h vor dem errechneten Abferkeltermin, der in der Praxis grundsätzlich mit dem 115. Trächtigkeitstag angegeben wird, die Gefahr, die Geburt zu früh einzuleiten. Insbesondere da bekannt ist, dass 24 bis spätestens 48 h nach der Injektion die Geburt einsetzt (Decaluwe et al., 2012; Jović et al., 2016) und die Trächtigkeitsdauer individuell durch die Sau bedingt ist. Spannbreiten von 113 bis 117 Tagen sind möglich (Kirkden et al., 2013), so dass eine Geburtseinleitung am 114. Trächtigkeitstag bei einigen Sauen zu einer verfrühten Geburt führt und die Gefahr des Auftretens von nicht vollentwickelten Ferkeln erhöhen kann. Ein Lösungsansatz könnte ein Drei-Schichtsystem in den Abferkelabteilen sein. Das konzentrierte Abferkeln tagsüber würde entzerrt und eine Geburtseinleitung zur Synchronisation der Arbeitsabläufe unnötig. In der Praxis wird bei Jungsaunen im Vergleich zu Altsauen häufig keine Geburtseinleitung vorgenommen. Managementmaßnahmen wie der Wurfausgleich können die Heterogenität von Würfen zu einem gewissen Grad ausgleichen, sind aber nur ein Korrektiv und nicht die Lösung. Die Vitalität des einzelnen Ferkels wird nicht verbessert, sondern lediglich seine Überlebenschancen durch unterstützende Maßnahmen erhöht. Hinzu kommt, dass der Wurfausgleich nur selten innerhalb der Jungsaunen bzw. Altsauen gewährleistet werden kann. Gleichzeitig bestimmt die Auswahl bzw. die Sortierung der für den Wurfausgleich vorgesehenen Ferkel über deren Konkurrenzfähigkeit zu den anderen Ferkeln des Wurfs. Weiterhin ist die IgG-Konzentration des Kolostrums, die Milchleistung und die Beschaffenheit des Gesäuges an der Aufzuchtleistung der Sau beteiligt und nimmt entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung der aufzuziehenden Ferkel.

Die unterschiedlichen Voraussetzungen für jedes einzelne Ferkel erklären auch zu einem gewissen Teil die Streuung der Absetzgewichte innerhalb eines Wurfs. Gleichzeitig verlangt das übliche Rein-Raus-Verfahren in der Praxis, dass alle Würfe zeitgleich an einem Tag abgesetzt werden. Vor dem Hintergrund, dass die Sauen einer Gruppe binnen einer Woche abferkeln, können sich Altersunterschiede zwischen den Ferkeln von bis zu fünf Lebenstagen zum Zeitpunkt des Absetzens ergeben. Daher sind leichtere Absetzgewichte, geringere Zunahmen in der

Ferkelaufzucht und höhere Mortalitäten dieser Ferkel absehbar. Auch in der Literatur (Faccin et al., 2020, 2019; Huting et al., 2019) ist dieser Zusammenhang bestätigt. Die Wachstumsdepression setzt sich aufgrund der durch den Absetzstress reduzierten Futteraufnahme weiter fort (Turpin et al., 2016). Demzufolge werden spezielle Futterrationen, die mit Spurenelementen oder ätherischen Ölen angereichert sind, und eigentlich die Futteraufnahme begünstigen sollen, nicht entsprechend aufgenommen. Infolgedessen erkranken diese Ferkel vermehrt an Diarrhö.

Die Adaptationsfähigkeit des einzelnen Ferkels an die neue Umwelt und an die neu gruppierten Artgenossen ist dabei durch dessen individuelle Vitalität bestimmt. Die Genetik hat hier eine nicht unerhebliche Bedeutung. Rauw und Gomez-Raya (2015) sowie Renaudeau et al. (2011) gehen davon aus, dass modernere Genotypen deutlich sensibler auf Veränderungen in der Umwelt reagieren und nennen stärkere Leistungsdepressionen als Folge. Dem entgegen stehen neuere Erkenntnisse von Chatelet et al. (2018), die daraufhin deuten, dass aktuelle hochleistende Genotypen weniger sensibel reagieren und das Wachstumspotential trotz negativer Umwelteffekte besser ausnutzen. Zwischen den Studien liegen etwa drei bis sieben Jahre. In dieser Zeit haben sich die Marktanforderungen und bedingt dadurch die Zuchtziele verändert. Beispielsweise etablierten einige Zuchtunternehmen einen Teil-Index für Robustheit oder implementierten Robustheitsmerkmale in den Gesamt-Index (DanBred, 2020a; German Genetic, 2020; PIC, 2020; TOPIGS Norsvin 2020a). Die Anpassung der Indexzusammensetzung sowie die (wirtschaftliche) Gewichtung der Einzelmerkmale und der Zuchtfortschritt haben dazu geführt, dass neben der Leistungsfähigkeit auch die Vitalität der Schweine verbessert wurde. Durch die daraus resultierende verbesserte Anpassungsfähigkeit sind hochleistende Genotypen heute in der Lage, trotz Umweltstressoren ein hohes Leistungsniveau zu halten und gelten als robust und vital.

Insbesondere da bekannt ist, dass, abhängig von der Rasse, Unterschiede im Protein-Bedarf bestehen und die Erkenntnisse aus Studien mit standardisierten Umweltbedingungen stammen, sollten Genotyp-Umwelt-Interaktionen beachtet werden. Die Datenerhebung von Taylor et al., (2015) beginnt nach dem Absetzen von Large White- bzw. Hampshire-Nachkommen. Die Umweltbedingungen bzw. Managementmaßnahmen, in denen die Ferkel geboren wurden und aufwuchsen, sind nicht beschrieben. Leistungsunterschiede alleine auf den unterschiedlichen Protein-Bedarf der Genotypen zurückzuführen, ist kritisch zu sehen. Umweltfaktoren, die bereits im Abferkelbereich einwirken, sollten mit einbezogen werden, sodass die Leistungsdifferenzen der Nachkommen genauer quantifiziert und der Genetik zugeordnet werden können. Zumal die Aussagekraft erhöht wird, wenn derselbe Versuchsaufbau unter anderen Umweltbedingungen vorgenommen wird und sich dann das grundlegende Ergebnis nicht ändert. Bedingt dadurch wird auch die Vitalität, die sich in der Anpassungsfähigkeit an die gegebene Umwelt äußert (Becker et

al., 1987), überprüfbar. Die Aussage von Knap (2005), dass sich die Robustheit von Schweinen in deren Adaptationsfähigkeit zeigt, wird somit bestätigt. Daher ist anzunehmen, dass sich die Vitalität des Ferkels in den weiteren Produktionsabschnitten in der Robustheit des einzelnen Mastschweins gegenüber den Umweltfaktoren äußert.

Entsprechend der vorliegenden Übersichtsarbeit von Elbert et al. (2018) (vgl. Kapitel 3, Abschnitt 3.2) hat sich bis dato noch kein modifizierter APGAR-Score zur Beurteilung der Ferkelvitalität in der Praxis etabliert. Binnen der letzten zwei Jahre zeigte sich jedoch ein zunehmendes Interesse an dem Thema Ferkelvitalität, sodass derzeit zwei aktuelle Studien (Revermann et al., 2018; Schodl et al., 2019) vorliegen. Diese modifizierten einen APGAR-Score und untersuchten dessen Aussagekraft hinsichtlich der Ferkelvitalität. Während die Stichprobe in der Studie von Revermann et al. (2018) 25 Würfe umfasst, wurde die Studie von Schodl et al. (2019) mit 3.171 Würfen deutlich größer angelegt. Revermann et al. (2018) kamen zu dem Schluss, dass der Zustand der Nabelschnur ($p < 0,06$) und die direkte Versorgung des Ferkels nach der Austreibungsphase durch die Mitarbeiter des Betriebs ($p < 0,0001$) die repräsentativsten Merkmale in der Anwendung des modifizierten APGAR-Scores sind. Die kritisch hinterfragte Anwendbarkeit, der im Kapitel 3 unter dem Abschnitt 3.2 vorgestellte Übersichtsarbeit von Elbert et al. (2018), deckt sich mit der Meinung von Revermann et al. (2018). Die Anwendung des APGAR-Scores bleibt unter praktischen Bedingungen schwierig umzusetzen. Einerseits unterliegt ein Teil der zu beurteilenden Merkmale dem subjektiven Einfluss des einzelnen Beurteilers, was ein gewisses Training zur Validierung des Scores voraussetzt. Andererseits kann in kommerziell wirtschaftenden Betrieben der nötige Zeitaufwand für die APGAR-Beurteilung der Ferkel kaum bis gar nicht geleistet werden. Gleichwohl scheint die wurfweise Beurteilung der Ferkelvitalität mit dem modifizierten Score von Schodl et al. (2019) vielversprechende Ergebnisse zu liefern. Die Erfassung beschränkt sich auf den Gesamteindruck des Wurfs und die Anzahl an Ferkeln die schwach, blass oder eine verminderte Saugtätigkeit zeigen. Dadurch ist der Aufwand des Scorings deutlich reduziert, was auch für die hohe Zahl an Beobachtungen spricht. Gleichzeitig bestätigen die signifikant genetischen Korrelationen zwischen der Ferkelvitalität und der Wurfgröße ($r = -0,68$) bzw. der Mortalität ($r = -0,65$) (Schodl et al., 2019) den bekannten Zusammenhang. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Aussagekraft des modifizierten Scores belastbar ist und damit eine weitere Etablierung der Ferkelvitalität in ein Zuchtprogramm ermöglicht. Allerdings steht dieser Score wie auch das Merkmal Hautfarbe, welches gemäß Elbert et al. (2018) als valide und anwendbar beschreiben (vgl. Kapitel 3, Abschnitt 3.2), unter dem subjektiven Einfluss des Beobachters. Die metrische Erfassung des Geburtsgewichtes und der Körpertemperatur erscheint daher deutlich

repräsentativer. Weiterhin kann die Anwendbarkeit durch das Integrieren in Managementmaßnahmen wie der Erstversorgung sichergestellt werden.

Die in diesem Kapitel vorgestellte Thematik bestätigt die Wichtigkeit der individuellen Ferkelvitalität als Möglichkeit der Herausforderung der steigenden Wurfgröße zu begegnen. Der Genotyp ist neben den Umweltfaktoren lediglich ein Aspekt in einer Vielzahl von Faktoren, die die individuelle Ferkelvitalität beeinflussen. Dennoch ist der genetische Einfluss nicht unerheblich. Der Genotyp ist Grundlage der individuellen Ferkelvitalität, er ist wegweisend für die Adaptationsfähigkeit und äußert sich in der Robustheit der Schweine, mit Umwelteinflüssen umzugehen. Verbunden mit dem Einfluss der Genetik, können bereits zum Zeitpunkt der Belegung Maßnahmen getroffen werden, die die Erzeugung vitaler, frohwüchsiger Schweine unterstützen. Hinsichtlich der Wurfgröße ist eine weitere Erhöhung nicht zielführend, es sei denn, die züchterische Verbesserung dieses Merkmals geht mit der gleichzeitigen Senkung der Ferkelverluste (vitalere Ferkel bei gleichzeitigem Verzicht auf zusätzliche Managementmaßnahmen) einher. Es gilt, die individuelle Ferkelvitalität zu verbessern und einen Konsens mit den anzulegenden Tierwohl- und Tierschutzstandards zu ermöglichen (vgl. Kapitel 3, Abschnitt 3.2, (Elbert et al., 2018)).

4 Einfluss der Endstufeneberlinie auf die Vitalität und Leistung der Nachkommen

4.1 Einleitung

Endstufeneber werden auf der Produktionsstufe der Ferkelerzeugung eingesetzt, um Ferkel bzw. Mastschweine zu produzieren. In Deutschland befinden sich derzeit etwa 5400 Endstufeneber auf den Besamungsstationen (Bayern-Genetik, 2020; BHZP, 2020; BUS, 2020; BVN, 2020; GFS, 2020; Huntemühlen 2020; SWE, 2020; TOPIGS Norsvin, 2020b). Insbesondere die Vielfalt der verschiedenen Linien führt in den Ferkelerzeugungsbetrieben zu einer zunehmenden Komplexität bei der Auswahl der Endstufeneberlinie.

Bei den Endstufenebern stehen die Mastleistung und der Schlachtkörperwert besonderes im Fokus der Zuchtarbeit (Dufrasne, 2014; Fecke, 2013). Das steigende Leistungsniveau und die erhöhten Anforderungen an das Management und das Tierwohl haben dazu geführt, dass die Merkmale Robustheit und Vitalität zunehmend auch auf der paternalen Seite berücksichtigt werden. Auch die Reproduktionsleistung (Spermaqualität und -quantität) der Endstufeneber, die die Rentabilität der Besamungsstationen (Knox, 2016) ebenso wie die des Ferkelerzeugers beeinflusst, findet bei der Selektion Beachtung. In Studien von Broekhuijse et al. (2012a, 2012b) und Pedersen et al. (2019) ist bestätigt, dass ein Effekt des Endstufenebers sowohl auf Wurfmerkmale wie auch auf die Ferkelvitalität besteht. Unterschiede in der Mastleistung und im Schlachtkörperwert von Kreuzungsnachkommen, die auf den Einsatz verschiedener Endstufeneberlinien basieren, sind für die Mastphase untersucht (Cámara et al., 2016; De Cuyper et al., 2019; Gilleland et al., 2019). Jedoch wirkt eine Vielzahl an Umweltfaktoren bereits vor Erreichen der Mastphase auf die Kreuzungsnachkommen ein und beeinflusst die weitere Entwicklung der Ferkel hin zu einem Mastschwein. Um Leistungsunterschiede der Kreuzungsnachkommen genauer zu quantifizieren und der Endstufeneberlinie zuordnen zu können, ist es sinnvoll, eine integrierte Untersuchung von der Geburt bis zur Schlachtung unter standardisierten Bedingungen durchzuführen.

Im folgenden Kapitel wird die Bedeutung der Endstufeneber sowie der für die züchterische Bearbeitung relevanten Merkmalskomplexe erläutert. Eine vergleichende Analyse zweier aktueller Endstufeneberlinien wird entlang der gesamten Produktionskette (Belegung, über die Geburt bis hin zur Schlachtung) unter standardisierten Umweltbedingungen vorgestellt. Die Ergebnisse aus der Ferkelerzeugung und der Schweinemast werden übergreifend und vor dem Hintergrund der Produktionseffizienz und des Tierwohls kontrovers diskutiert.

4.1.1 Bedeutung aktueller Endstufeneberlinien in Deutschland

Die künstliche Besamung ist die meistverbreitete Methode zur Anpaarung von Schweinen (Bortolozzo et al., 2015; Roca et al., 2011). Zusammengefasst in der Literaturübersicht von Knox (2016), thematisierten in der Mitte des 20. Jahrhunderts die ersten Studien die künstliche Besamung bei Schweinen. Im Jahr 2005 / 2006 wurden bereits knapp 90 % der Sauen in Deutschland künstlich besamt (Waberski und Weitze, 2007). Aktuell findet bei über 90 % der Sauen in Deutschland die künstliche Besamung Anwendung (LWK Niedersachsen, 2020). Ausgehend von derzeit 1,7 Mio. Zuchtsauen in Deutschland, sechs Spermaportionen pro Sau / Jahr und etwa 1.800 bis 2.000 Spermaportionen pro Eber / Jahr werden zwischen 5.000 und 6.000 Eber in Deutschland benötigt.

Endstufeneber werden in der Regel mit F1-Kreuzungssauen angepaart, um marktkonforme Mastschweine zu erzeugen. Dies geschieht in der Produktionsstufe der Ferkelerzeugung. Der Fokus der Selektion dieser Tiere (Vaterrassen) liegt auf den Merkmalen Mastleistung, Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit (Dufrasne, 2014; Fecke, 2013). Abhängig von der Zuchtorganisation werden programmspezifische Selektionsstrategien verfolgt und die einzelnen Linien entsprechend bezeichnet (PIC, 2020; SWE, 2020). Laut BMEL (2019) agieren neun Zuchtorganisationen in Deutschland. Jede Organisation verfügt über mindestens ein bis zwei Endstufeneberlinien, die wiederum auf verschiedene Produktionsmerkmale wie Wuchs, Fleisch, Geruch, Verhalten oder Robustheit verstärkt selektiert werden (PIC, 2020; SWE, 2020). Aus den Angaben verschiedener Organisationen (Bayern-Genetik, 2020; BHZP, 2020; BUS, 2020; BVN, 2020; GFS, 2020; Huntemühlen 2020; SWE, 2020; TOPIGS Norsvin, 2020b) geht hervor, dass die in Deutschland eingesetzten Endstufeneber vornehmlich auf der Ausgangsrasse Piétrain basieren. Weiterhin hat die Rasse Duroc als Endstufeneber innerhalb der letzten Jahre zunehmend an Bedeutung gewonnen (Hiebert, 2020). Den geringsten Marktanteil besetzen synthetische bzw. Kreuzungslinien. Die Abbildung 4-1 zeigt die Verteilung der Endstufeneber nach Ausgangsrassen in Deutschland.

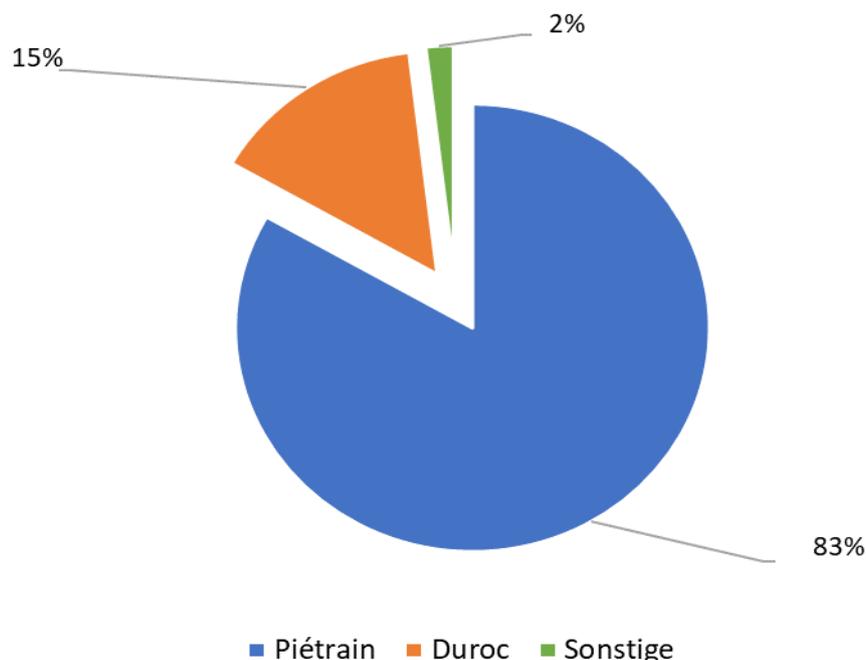


Abb. 4-1: Prozentuale Verteilung der in Deutschland aufgestellten Endstufeneber nach Ausgangsrassen. (Eigene Darstellung, basierend auf Angaben von Bayern-Genetik (2020), BHZP (2020), BUS (2020), BVN (2020), GFS (2020); Huntemühlen (2020), SWE (2020) und TOPIGS Norsvin (2020b)).

Während sich die Rasse Piétrain besonders durch den Schlachtkörperwert (Magerfleischanteil und wertvolle Teilstücke) auszeichnet (Kušec et al., 2004), ist die Rasse Duroc durch die besondere Fleischqualität (Latorre et al., 2003), das Wachstum und die Robustheit gekennzeichnet (Hiebert, 2020). Kreuzungseber, die nach der Definition von Hill (1971) eine neue Population mit eigenem Genpool bilden, zählen zu den synthetischen (Neuzüchtungs-) Linien. Sie vereinen die Vorteile der Ausgangsrassen und erhöhen den Heterosiseffekt auf die Nachkommen (Webb und King, 1976). Gleichzeitig deuten Ergebnisse von Knecht et al. (2017b), Kondracki et al. (2015) und Wysokinska et al. (2009) auf eine verbesserte Spermaqualität bei Kreuzungsebern im Vergleich zu Reinzuchtebern hin.

4.1.2 Merkmale der Endstufeneber und deren genetische Beziehung

Die Selektion des Endstufenebers basiert in der Regel auf einem ökonomischen Index, der alle im Zuchtziel wirtschaftlich wichtigen Merkmale vereint (Hermesch et al., 2015). Dabei bilden phänotypische und genotypische Daten die Grundlage der Index-Schätzung (Zak et al., 2017), die auf die Verwendung der genomischen Selektion zurückgreift (Knol et al., 2016). In der Schweinezucht hat sich diese Methode innerhalb der letzten acht bis neun Jahre etabliert (Forni et al., 2011; Knol et al., 2016; Lillehammer et al., 2011; Ostersen et al., 2011). Basierend auf einer Referenzpopulation (genotypisiert und phänotypisiert), wird für jedes einzelne SNP (Single-

Nucleotide-Polymorphism) der Einfluss auf das gewünschte Merkmal geschätzt (Meuwissen, 2009). Mögliche Modelle wie G-BLUP (Genomic Best Linear Unbiased Prediction) oder Bayes-Modelle haben sich dabei bewährt (Meuwissen, 2009; Meuwissen et al., 2001). Das zu selektierende Tier wird genotypisiert und die vorhandenen SNP-Effekte aufsummiert, diese ergeben den genomischen Zuchtwert des Tieres, der auf den Schätzwerten der Referenzpopulation basiert (Ostersen et al., 2011; Willam und Simianer, 2017). Kommen später Eigenleistungsdaten des Ebers hinzu, werden diese mit dem genomischen Zuchtwert zu einem genomisch unterstützten G-BLUP-Zuchtwert zusammengefasst, der durch die Erhöhung der Datengrundlage an Sicherheit gewinnt (Willam und Simianer, 2017; Zanella et al., 2016). Durch die Weiterentwicklung der SNP-Chip-Technologie und der Schätzverfahren, wird zunehmend das Imputations-Verfahren in der Schweinezucht verwendet, wodurch die Kosten der Genotypisierung gesenkt werden (Gualdrón Duarte et al., 2013; van den Berg et al., 2019). Dieses Verfahren basiert auf der Verwendung von sogenannten Low-Density-Chips (LDC), deren Markerdichte herabgesetzt ist (z.B. < 9.000 untersuchte SNP-Marker) (Cleveland und Hickey, 2013; Gualdrón Duarte et al., 2013). Dabei wird nur ein Teil der Population mit den High-Density-Chips (HDC) (z.B. > 60.000 SNP-Marker) genotypisiert, die als Referenzpopulation dient (Cleveland und Hickey, 2013; Gualdrón Duarte et al., 2013). Fehlende SNPs des LDC-typisierten Tieres werden dann auf Grundlage der Referenzpopulation geschätzt (Segelke und Thaller, 2017; Xiang et al., 2015). Zudem kann auch bei nicht-typisierten Tieren, die eine enge Verwandtschaft zur Referenzpopulation vorweisen, mittels Imputing der genomische Zuchtwert geschätzt werden (Boysen et al., 2013; Knol et al., 2016).

Im Zuchtziel werden die Merkmale berücksichtigt, die sich langfristig auf die Rentabilität der Schweineproduktion auswirken (Robinson und Buhr, 2005; Willam und Simianer, 2017). Dabei ist zwischen Produktionsmerkmalen, die der Erhöhung der Erlöse dienen und den funktionalen Merkmalen zu unterscheiden (Willam und Simianer, 2017). Letztere setzen sich aus Reproduktions- und Gesundheitsmerkmalen zusammen und fokussieren sich auf die Senkung der Kosten (Willam und Simianer, 2017). Die Produktionsmerkmale der Mastleistung (tägliche Zunahmen, Futteraufnahme) und des Schlachtkörperwerts (Fleisch- und Speckdicke, Anteil wertvoller Teilstücke) stehen insbesondere bei Endstufenebern im Fokus der Zuchtarbeit (Marques et al., 2017; Robinson und Buhr, 2005). Zudem finden Fleischqualitätsmerkmale wie der pH-Wert, die Tropfsaftverluste und die Fleischfarbe Berücksichtigung (Aaslyng und Hviid, 2020). Das überdurchschnittliche Potential dieser Tiere soll an die nächste Generation (Endprodukte / Masthybriden / Kreuzungsnachkommen) weitergegeben werden (Robinson und Buhr, 2005). Ebenso besteht ein zunehmendes züchterisches Interesse an funktionalen Merkmalen, wie der

Robustheit und der Vitalität von Ferkeln und Mastschweinen (Hermesch et al., 2015; Merks et al., 2012). Hinzu kommt, dass der Zuchtfortschritt nur weitergegeben werden kann, wenn die Reproduktionsleistung des Endstufenebers den Anforderungen der Besamungsstation gerecht wird (Knox, 2016; Lopez Rodriguez et al., 2017). Daher sind die Spermaquantität und -qualität, genauso wie die Libido und die körperliche Fitness (Fundament, Gesundheit) des Ebers wichtige Merkmale bei der Selektion (Gonzalez-Pena et al., 2016). Ergebnisse von Knecht et al. (2017a) deuten darauf hin, dass die Spermaqualität für fast ein Viertel der Eberabgänge verantwortlich ist, gefolgt von Fundamentproblemen, Krankheiten sowie unzureichender Libido. Gonzalez-Pena et al. (2016) und Knecht et al. (2017a) gehen von daraus resultierenden erheblichen ökonomischen Verlusten aus. Gonzalez-Pena et al. (2016) und Ruiz-Sánchez et al. (2006) rechtfertigen aus diesem Grund eine stärkere Berücksichtigung dieser Merkmale innerhalb eines Zuchtprogramms.

Schätzungen der genetischen Parameter für die Produktionsmerkmale und die funktionalen Merkmale sowie deren Korrelationen sind notwendig für ein erfolgreiches Zuchtprogramm (Khanal et al., 2019). Die Tabelle 4-1 fasst die Heritabilitäten ausgewählter Produktionsmerkmale von Piétrain- und Duroc-Populationen aus verschiedenen Studien zusammen.

Tab. 4-1: Zusammengefasste Heritabilitäten (h^2) ausgewählter Produktionsmerkmale in Piétrain- und Duroc-Populationen

Merkmal	h^2	Autoren
Futterraufnahme	0,47-0,59	(Dugué et al., 2020; Suzuki et al., 2005; Tusell et al., 2019)
tägliche Zunahme	0,28-0,35	(Bergamaschi et al., 2020; Lopez et al., 2019; Willson et al., 2020)
Futterverwertung	0,21-0,41	(Dugué et al., 2020; Herrera-Cáceres et al., 2020; Tusell et al., 2019)
Muskelfleischanteil	0,42-0,82	(Dugué et al., 2020; Lopez et al., 2019; Tusell et al., 2019)
Fleisch- und Speckdicke	0,33-0,70	(Bergamaschi et al., 2020; Chang et al., 2017; Tusell et al., 2019)
wertvolle Teilstücke ¹	0,14-0,46	(Khanal et al., 2019; Tusell et al., 2019; Willson et al., 2020)
Tropfsaftverluste	0,19-0,62	(Dugué et al., 2020; Tusell et al., 2019; Willson et al., 2020)
Intramuskuläres Fett	0,23-0,52	(Ding et al., 2019; Dugué et al., 2020; Khanal et al., 2019)
pH-Wert	0,08-0,39	(Khanal et al., 2019; Tusell et al., 2019; Willson et al., 2020)
Androsteron	0,46-0,71	(de Campos et al., 2015; Dugué et al., 2020; Große-Brinkhaus et al., 2015)
Skatol	0,17-0,50	(de Campos et al., 2015; Große-Brinkhaus et al., 2015; Tusell et al., 2019)

¹Schinken, Lachs, Schulter, Bauch

Es ist bekannt, dass zwischen den einzelnen Merkmalen erwünschte bzw. unerwünschte Korrelationen vorliegen, die im Rahmen der Zuchtwertschätzung zu berücksichtigen sind (Miar et al., 2014; Suzuki et al., 2005). Beispielsweise sind die Merkmale Muskelfleischanteil und Tropfsaftverluste ($r=0,39-0,45$) (Dube et al., 2013; Knapp et al., 1997) sowie die täglichen Zunahmen mit dem Tropfsaftverlust ($r=0,78$) bzw. dem pH-Wert 24 h p.m. ($r=-1$) (van Wijk et al., 2005) unerwünscht korreliert. Hingegen stellten Miar et al. (2014) keinen negativen Zusammenhang zwischen dem Merkmal tägliche Zunahmen und der Fleischqualität fest. Dennoch gehen die Autoren davon aus, dass die anhaltende Selektion auf Magerfleisch und Futtereffizienz zur Minderung der Fleischqualität geführt hat (Miar et al., 2014).

Weiterhin sind für Endstufeneber die bereits angesprochenen niedrigen bis moderaten Heritabilitäten der Fruchtbarkeitsmerkmale (Marques et al., 2017; Smital et al., 2005; Wolf und Smital, 2009; Zhao et al., 2019) besonders zu berücksichtigen. Wolf (2009) untersuchte den Zusammenhang zwischen der Spermaqualität und den täglichen Zunahmen bzw. der

Rückenspeckdicke. Grundlage ihrer Untersuchung waren 151.755 Ejakulate von 2.077 Ebern, deren Rückenspeckdicke (Messung durch Ultraschall) und die täglichen Zunahmen der Eber. Alle genetischen Korrelationen erwiesen sich als sehr gering ($r < 0,13$) und günstig zueinander (Wolf, 2009). Aktuellere Ergebnisse von Chang et al. (2017) deuten darauf hin, dass in Duroc-Populationen eine verstärkte Selektion auf das Merkmal Futtermittelverwertung die Konzentration ($r = 0,59$) und die Motilität ($r = 0,49$) der Spermien verbessert hat. Gleichzeitig stellte sich heraus, dass hohe Zunahmen in Yorkshire-Populationen zur Abnahme der Spermienkonzentration ($r = -0,59$) und geringerer Motilität der Spermien ($r = -0,65$) führen (Chang et al., 2017). Hingegen weisen Szostak et al. (2018) darauf hin, dass hohe Wachstumsraten der Eber keinen negativen Effekt auf deren Spermaqualität haben. Eber mit täglichen Zunahmen zwischen 800 und 850 g und einem Magerfleischanteil von >60 % verfügen über höhere Konzeptionsraten im Vergleich zu langsamer gewachsenen Tieren mit einem geringeren Magerfleischanteil (Knecht et al., 2017b). Arsenakis et al. (2017) gehen davon aus, dass die Selektion auf geringere Rückenspeckdicke in einer belgischen Piétrain-Endstufeneberlinie eine Verschlechterung der Spermaqualität zur Folge hat. Negative Zusammenhänge zwischen dem Magerfleischanteil und der Motilität bzw. den Anteil pathomorpher Spermien stellen sie nicht fest (Arsenakis et al., 2017).

Der genetische Einfluss des Endstufenebers auf die Wurfmerkmale (Wurfgröße, IgF, tgF, inkl. embryonaler Entwicklung), liegt je nach untersuchter Population, Methodik und Merkmal zwischen 0,5 und knapp 7 % (Broekhuijse et al., 2012a, 2012b; Dodenhoff et al., 2019; Furstoss et al., 2012; Lopez et al., 2017; Wolf und Wolfová, 2012). Ebenso schätzten Guo et al. (2015) und Lopez et al., (2017) den paternal genetischen Effekt für das Merkmal Ferkelmortalität auf weniger als 0,7 % von der additiv genetischen Varianz ein. Neben den geringen paternalen genetischen Effekten, nennen Dodenhoff et al. (2019) das Merkmalspektrum und die Datenqualität als mögliche Gründe für die Vernachlässigung des Einflusses des Ebers auf die Wurfmerkmale in der Vergangenheit. Seit 2015 wird im Zuchtziel der Duroc-Eber von DanBred der paternale Effekt auf Fruchtbarkeit und Überlebensrate berücksichtigt, aktuell mit einem Anteil von 6 % (DanBred, 2020b). Je nach Eberlinie gibt die Pig Improvement Company Werte zwischen 27 und 33 % für die Merkmale Robustheit und Vitalität sowie zwischen 3 und 6 % für die Fruchtbarkeit, in den Zuchtzielen ihrer Endstufeneberlinien an (PIC 2020). Trotz des geringen Einfluss, ist es sinnvoll paternale Effekte auf die Wurfmerkmale bei der Selektion der Eber zu berücksichtigen (Broekhuijse et al., 2012b). Insbesondere, um Eber zu identifizieren, die in diesem Merkmalskomplex negativ auffallen (Dodenhoff et al., 2019). Des Weiteren bestätigen Ergebnisse von Pedersen et al. (2019), dass durch die Wahl der Endstufeneberlinien, insbesondere in Betrieben mit hohen Saugferkelverlusten, diese reduziert werden können und ein Beitrag zum

Wohlergehen und Schutz der Tiere geleistet werden kann. Die Autoren untersuchten insgesamt 2.160 Würfe, die aus Anpaarungen mit 87 Duroc- und 68 Piétrain-Eber resultierten. Linear für alle beobachteten Wurfgrößen (die Anzahl der gesamt geborenen Ferkel betrug zwischen 12 und 26) lag die Mortalitätsrate der Piétrain-Nachkommen stets über der der Duroc-Nachkommen. Die Differenz von rund 3 % zwischen den Genotypen in der Überlebensfähigkeit bis zum Absetzen ($p < 0,001$) erklären Pedersen et al. (2019) durch eine höhere Robustheit und Vitalität der Duroc-Nachkommen und schließen eine zukünftig noch stärkere Selektion der Duroc-Eber auf Robustheit nicht aus.

Die Selektion und die Generierung des Zuchtfortschritts erfolgt in den Reinzuchtlinien in der Nukleusstufe (Godinho et al., 2018). Da die Produktionseffizienz auf den Kreuzungsnachkommen in der Ferkelerzeugung und Mast beruht, ist die Korrelation der Merkmale zwischen den Reinzuchttieren und den Kreuzungstieren ein wichtiger Parameter (Wientjes und Calus, 2017; Zumbach et al., 2007). Dazu untersuchten Godinho et al. (2018) die Daten von 194.445 Reinzucht- und 46.328 Kreuzungsnachkommen hinsichtlich der Korrelationen der Mastleistungsmerkmale. Abhängig vom Merkmal schätzten die Autoren Korrelationen, die zwischen $r=0,61$ und $r=0,71$ liegen. Für die Futtereffizienz liegt die Korrelation zwischen $r=0,62$ und $r=0,67$ sowie zwischen $r=0,62$ und $r=0,67$ für die Merkmale des Schlachtkörperwerts (Godinho et al., 2018). Die in der Studie von Wientjes und Calus (2017) verglichenen und zusammengefassten 27 Studien der Jahre 1964 bis 2017 kommen zu ähnlich moderaten bis hohen Korrelationen zwischen Reinzucht- und Kreuzungspopulationen. Dennoch ist die Erfassung und Einbeziehung der Daten der Kreuzungsnachkommen in das Reinzuchtprogramm zur Erhöhung des genetischen Fortschritts von Bedeutung (Godinho et al., 2018). Insbesondere, da Genotyp-Genotyp-Interaktionen sowie Genotyp-Umwelt-Interaktionen und Unterschiede in der Merkmalerfassung die Korrelationen stark beeinflussen (Wientjes und Calus, 2017).

4.2 Vitality in relation to litter size of crossbred pigs and the effect of the terminal sire line

K. Elbert^{A,D}, N. Matthews^B, R. Wassmuth^C, J. Tetens^A

^ADepartment of Animal Sciences, Division of Functional Breeding, Georg-August-University Göttingen, Burckhardtweg 2, 37077 Göttingen, Germany.

^BPIC North America, 100 Bluegrass Commons Boulevard, Street 2200, Hendersonville, TN 37075, USA.

^CFaculty of Agricultural Sciences and Landscape Architecture, Division Animal Breeding, University of Applied Sciences Osnabrueck, Am Kruempel 31, 49090 Osnabrueck, Germany.

^DCorresponding author. Email: k.elbert@hs-osnabrueck.de

veröffentlicht in

Animal Production Science

URL: <https://www.publish.csiro.au/AN/AN20424>

DOI: [org/10.1071/AN20424](https://doi.org/10.1071/AN20424)

Abstract

Context. Most research on sire lines is linked to growth and carcass traits. Only a limited number of field trials explore the effect of sire line on piglet vitality, litter size and the interactions between these traits.

Aim. The aim of this study was to examine the effect of sire line on the growth performance and vitality of progeny from birth to weaning and to evaluate the lines with respect to their impact on litter size.

Methods. Data included 150 litters of a Synthetic sire line (A) and 154 of a Piétrain sire line (B), with 4209 piglets born alive, which resulted from matings to 337 dams (Camborough PIC). The numbers of total born (TNB) and born alive (NBA) piglets per litter were recorded. Within 24 h after birth, piglet individual birthweight (BW_{birth}), sex (M / F) and body temperature (BT) were also recorded. At weaning, mortality rates and weaned pigs per sow (NWPS) were registered. At the day of weaning, 665 randomly chosen pigs were individually weighed. Weaning weights (WW) were used to calculate the weaning average daily gain (WADG).

Key results. Sire line significantly affected TNB ($P < 0.0001$), NBA ($P < 0.01$) and NWPS ($P < 0.01$). Across lines, each additional piglet per litter resulted in a 31.2 g decline in BW_{birth} ($P < 0.001$). Larger litter sizes, higher BW_{birth} ($P < 0.01$) and piglets with lower BT ($P < 0.0001$) were detected in litters of Sire line B compared with litters of Sire line A. No differences between lines were detected for WADG, WW and pre-weaning mortality ($P > 0.05$). A positive correlation between BW_{birth} and WW resulted in a correspondingly higher WADG ($P < 0.0001$). Overall, heavier BW_{birth} piglets had a higher BT ($P < 0.0001$).

Conclusion. The present study indicates that Sire line B would offer a possibility to maintain litter size at a high level and, simultaneously, achieve higher BW_{birth} , with consequently more vital piglets.

Implication. It is important to emphasize that further selection for litter size in dam lines is not indicated in terms of animal welfare but also production efficiency. Instead, it seems feasible to follow the above strategy and stabilize litter size at a high level, while at the same time breeding for vitality and survivability in sire lines.

Keywords: genetic, swine, thermoregulation, gender, piglet producer.

Introduction

Increasing economic pressure on pig producers has entailed a strong emphasis on genetic selection for improved production efficiency of progeny, especially survival rate from birth to

finishing, daily weight gain, feed efficiency and carcass composition (Dufrasne *et al.* 2014; Knol *et al.* 2016). To reduce fixed costs per piglet, the pig industry aims for a high number of liveborn piglets, which can be weaned with high growth performance and fitness (Fix *et al.* 2010; Cutshaw *et al.* 2014; Ogawa *et al.* 2019). However, high performance levels are closely associated with animal welfare issues, which is of increasing interest not only to the producer, but also to the consumer and society. Increasing the litter size is associated with lower BW_{birth} and increasing variability of BW_{birth} within litters (Marandu *et al.* 2015; Ocepek *et al.* 2017). As a result, reduced pre-weaning survivability along with a negative effect on weight gain is observed (Fix *et al.* 2010; Marandu *et al.* 2015; Ocepek *et al.* 2017). To deal with this issue from a breeder's perspective, individual piglet vitality directly has to be taken into account. The main indicator traits for piglet vitality, suggested by several studies, are individual BW_{birth} , body temperature and colostrum intake (Baxter *et al.* 2008; Panzardi *et al.* 2013; Caldara *et al.* 2014).

Usually fattening pigs are cross-bred pigs in order to exploit heterosis effects for production traits such as litter size, piglet vitality and growth performance (García-Casco *et al.* 2012; Luo *et al.* 2018). Piglet producers usually keep a hybrid dam line and choose a terminal sire line on the basis of desired offspring performance (Lukač *et al.* 2014; Luo *et al.* 2018). Terminal sire selection is focused on production characteristics, mainly fattening and carcass value. However, owing to the different weighting of individual traits, sire lines can be highly specific. As a result, there is a wide variety of available terminal sire lines that might complicate the decision process for producers.

In several studies (Cilla *et al.* 2006; Dufrasne *et al.* 2014; Cámara *et al.* 2016; Gilleland *et al.* 2019) offspring performance traits, in particular those linked to growth and carcass traits, have been analysed. Some of these studies were based on small datasets and did not evaluate the sire line effect on piglet vitality or litter traits. Additionally, because of the speed of genetic progress, these studies would need to be re-evaluated. Hence, the aim of the present study was to determine the effect of two terminal sire lines on growth performance, vitality of piglets and litter size in a closed herd system.

Materials and Methods

Ethics statement

All work was done in accordance with the German legal and ethical requirements of appropriate animal procedures. The trial was approved by the institutional animal care and use committee of Göttingen University under file number E8-19.

Animals, facilities and general management practices

Data were recorded within a commercial closed herd system farm (combination of the whole production cycle in one farm, breeding, farrowing, nursery and growing / finishing) in eastern Germany over four consecutive farrowing cycles between November 2017 and September 2018. Each sow contributed only one litter to the dataset. A total of 35 terminal sires, 15 different sires of a closed terminal synthetic population (Sire line A) and 20 different sires of a European Piétrain based population (Sire line B) were mated to primiparous and multiparous F1 Large White x Landrace dams (Camborough PIC). Semen of both sire lines was delivered by the same artificial insemination station. Within a line, heterospermic insemination was applied and five sires per semen dose were used. Each sire line was mated to sows and gilts randomly assigned in terms of parity (Line A: 169 sows, parity: 3.5 ± 1.85 (mean \pm s.d.); Line B: 168 sows, parity: 3.5 ± 1.81 (mean \pm s.d.)) and body condition, assessed visually (thin, normal, fat). The number of litters for each combination of parity and sire line are shown in Table 1. Sows were weaned on the Monday before insemination and received one treatment of PMSG (Pregmagon® 200IE / ml, IDT Biologika GmbH, Germany) on Tuesday. The following Friday, sows were in heat and most matings were executed on Saturday and Sunday. Gilts did not receive a hormone treatment for oestrus synchronization. These gilts were grown at different sites of the trial farm and were introduced to the respective batch of sows once they were mated. During gestation, about 2–3 days after the last insemination, sow batches were housed in groups with an average of 10 sows per pen. Within each pen both sire line combinations were present. During gestation, access to water was ad libitum. A gestation diet was fed (10.95 MJ metabolisable energy (ME) / kg, 13.09 % crude protein (CP) and 0.68 % lysine, (UNA-HAKRA, Hanseatische Kraftfutter GmbH, Germany) until the predicted date of farrowing. Feeding level was adjusted according to stage of pregnancy. Until Day 79 the average feeding level was 2.8 kg per day; feeding levels were raised to 3.2 kg at Day 80. About 1 week before expected farrowing, sows were moved to the farrowing house and both treatments (sows bred with Sire line A or Sire line B) were randomly divided into four identical compartments and each compartment represented both treatments. Farrowing crates were standardized, with lying and suckling area for the sow and a heating plate together with a heat lamp in the piglet area. Environmental temperature was automatically controlled and adjusted with a heating and ventilation system. The average temperature of farrowing houses was 27 ± 4 °C (mean \pm s.d.). At Day 114 of gestation, farrowing was induced by a prostaglandin injection (Estrumate® pig 87.5 µg / ml, Intervet Deutschland GmbH, Germany) for sows, gilts were not induced.

From the first day after farrowing, sows received a lactation diet (12.76 MJ ME / kg, 16.77 % CP and 1.01 % lysine, (UNA-HAKRA, Hanseatische Kraftfutter GmbH, Germany). Feeding level was adjusted to the day of farrowing and according to body condition (thin, normal, fat) as well as sow's individual feed intake. Pre-starter was offered to piglets from Day 12 onwards (14.40 MJ ME / kg, 17.60 % CP and 1.43 % lysine, (UNA-HAKRA, Hanseatische Kraftfutter GmbH, Germany). Access to drinking water was ad libitum by nipple drinkers and bowls for sows and piglets. The management, care and nutrition were kept consistent for the different batches.

Table 1. Numbers of litters according to sow parity and sire line

	Parity				
	1	2	3	4	≥5
Sire line A	24	33	27	20	46
Sire line B	23	32	30	24	45

Within 12 – 24 h after farrowing, umbilical cords were docked and disinfected, teeth of the piglets were ground in accordance with common practice (Marchant-Forde *et al.* 2014; Menegatti *et al.* 2018), and an oral dose of a 20 mg / kg coccidiostat (Cevazuril® 50 mg / ml, CEVA Tiergesundheit GmbH, Germany) was administered. All piglets were individually identified with an ear tag and transponder, which was colour coded for the differing genetic lines. Subsequently, litter sizes were equalized by cross-fostering within sire lines. Further adjustments to litter size after cross fostering were made based on the individual condition of the sows and their ability to rear a high number of piglets (e.g. milking ability with teat number and quality when lying). This procedure was performed solely within sire line, meaning that litter size was equalized within but not among, lines. Each piglet was administered 200 mg of iron (Gleptosil® 200 mg / ml, CEVA Tiergesundheit GmbH, Germany) during the implementation of cross-fostering. On the third day of life, tails of all piglets were docked and males were given an intramuscular injection of meloxicam, 0.4 mg / kg (Metacam® 5 mg / ml, Boehringer Ingelheim Vetmedica GmbH, Germany) and surgically castrated.

Data collection and Measurements

The farrowing rate was defined as the percentage of farrowed sows in relation to number of mated sows. Sows culled during gestation (Culled sows: 5 Sire line A; 4 Sire line B) and sows that farrowed untimely (Removed sows: 1 Sire line A; 1 Sire line B), were excluded from the study. At the time of tagging piglets, the number of piglets born alive (NBA) and stillborn were recorded. Total born (TNB) was calculated as the sum of live- and stillborn piglets. Sex, individual birthweight (BW_{birth}) and body temperature (BT) of all tagged piglets were recorded during the tagging process. An ear thermometer (Braun ThermoScan® 7) was used to measure the BT.

During the lactation period individual piglet deaths were recorded and used to calculate the pre-weaning mortality rate. At weaning (weaning age: 19.9 ± 1.10 , mean \pm s.d.), an inventory of weaned pigs per sow was established, by scanning the individual transponder of each piglet during weaning and assigning, it to its genetic mother. Resulting from this assignment the number of weaned piglets per birth sow (NWPS) was recorded. All birth sows also nursed piglets. On the day of weaning, individual piglets (overall: Sire line A, 1849 piglets; Sire line B, 2051 piglets) were randomly sampled from each nursery pen. This sample of pigs (Sire line A, 333 piglets; Sire line B, 332 piglets) was weighed to determine the weaning weight (WW). The difference between WW and BW_{birth} was divided by individual weaning age to calculate weaning average daily gain (WADG) from birth to weaning.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using SAS version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary NC, USA). The dataset was checked for plausibility and a descriptive analysis including the calculation of means and standard deviations was completed. Least squares means with standard error of the analysed traits were compared using the Tukey test. Differences were considered as statistically significant at the 95 % confidence level ($P \leq 0.05$). Two-way interactions were tested and dropped from the model at $P > 0.05$. Litter traits (TNB, NBA, NWPS) were analysed by applying PROC GLIMMIX and individual piglet traits (BW_{birth} , BT, WW, WADG) by applying PROC MIXED. The linear model to describe the observations of litter traits was

$$Y_{ijkl} = \mu + G_i + B_j + P_k + e_{ijkl},$$

and the basic linear model for individual piglet traits was

$$Y_{ijklm} = \mu + G_i + B_j + P_k + S_l + b(T_{ijkl} - \bar{T}) + e_{ijklm},$$

where Y is the vector of observations and μ denotes the population mean; G_i , B_j , P_k and S_l are the fixed effects of the i^{th} sire line, the j^{th} batch ($j=1, 2, 3, 4$), the k^{th} parity ($k=1, 2, 3, 4, \geq 5$) and the l^{th} gender respectively. For litter traits, the random sow effect could not be fitted explicitly because the data holds only one observation per sow (Barr 2013; Barr *et al.* 2013). We thus followed Option 3 of Brauer and Curtin (2018) to fit the effect implicitly instead, in the form of the random residual term e_{ijklm} . For piglet traits TNB was included as a covariate ($b(T_{ijkl} - \bar{T})$) to analyse BW_{birth} , WADG and WW. As a second covariate BW_{birth} ($c(U_{ijkl} - \bar{U})$) was introduced to analyse WW and WADG. For WW, the weaning age was adjusted as a third covariate ($d(V_{ijkl} - \bar{V})$). Piglet BT was analysed fitting BW_{birth} as a linear covariate. Pre-weaning mortality was also treated as a trait of the individual piglet. Modelling this trait with the use of binary distribution (0=alive,1=dead)

enabled evaluation by using a logit model in PROC GLIMMIX with G_i , B_j and S_l as fixed effects, BW_{birth} and BT as linear covariates, and a random sow effect nested within sire line. Dam parity was not significant ($P=0.6$) for pre-weaning mortality and was dropped from the model.

Results

In total, 304 litters (sows) and 4209 piglets born alive were included in this study. Descriptive statistics per litter as well as individual traits are shown in Table 2. The farrowing rates were 92.0 % and 94.5 % for sows mated to Sire lines A or B respectively. Litters sired by Line B were larger in terms of TNB, (15.5 ± 0.28 vs. 13.8 ± 0.29 ; $P<0.0001$). Additionally, 1.2 more piglets were born alive (NBA: 14.3 ± 0.28 vs 13.1 ± 0.29 , $P<0.01$) and 1.1 more piglets were weaned (NWPS: 13.4 ± 0.25 vs 12.3 ± 0.26 , $P<0.01$) for litters sired by Line B as compared to litters of Sire line A.

Table 2: Raw-data characteristics for litter and individual piglet traits, by sire line

TNB: total number born (pigs / litter); NBA: number born alive (pigs / litter); NWPS: number weaned piglets (pigs / litter); BW_{birth} , birthweight (kg); BT, body temperature ($^{\circ}\text{C}$); WW, weaning weight (kg); WADG, average daily weight gain (g / day)

<i>Litter trait</i>	Sire line A			Sire line B		
	N	Mean	s.d.	N	Mean	s.d.
TNB (pigs / litter)	150	14.2	3.95	154	15.6	3.33
NBA (pigs / litter)	150	13.3	3.78	154	14.4	3.22
NWPS (pigs / litter)	148	12.5	3.27	154	13.3	3.08
<i>Piglet traits</i>						
BW_{birth} (kg)	1967	1.42	0.38	2176	1.44	0.35
BT ($^{\circ}\text{C}$)	1967	38.6	0.67	2176	38.3	0.72
WW (kg)	333	5.64	1.088	332	5.78	1.044
WADG (g / day)	333	211.6	46.87	332	214.8	45.24

Table 3 contains the results from the linear models for individual piglet BW_{birth} , BT, WW and individual WADG. Sire line, gender and TNB influenced piglet BW_{birth} ($P<0.01$). Progeny sired by Line B achieved a 31.4 g higher BW_{birth} and males were 29.5 g heavier than females. Each additional piglet per litter resulted in a 31.2 g decline in BW_{birth} . After accounting for gender and BW_{birth} , sire line affected piglet BT; progeny of Sire line A had a higher BT ($P<0.001$) than that of Sire line B. No differences were observed between male and female piglets ($P=0.60$). A linear association between BW_{birth} and BT was detected. Low BW_{birth} piglets had a lower BT ($P<0.001$). Piglets with a higher BW_{birth} had a higher BT, a higher WADG, and therefore a higher WW ($P<0.001$). After correction for BW_{birth} , neither WADG nor WW differed between sire lines ($P>0.05$).

No differences between sire lines were observed for pre-weaning mortality ($P=0.87$; Sire line A: 6.6% Sire line B: 7.6%). Covariates BW_{birth} and BT were significant ($P<0.001$).

Table 3. Least squares means (with s.e.m) by sire line and gender for piglet birthweight (BW_{birth}), body temperature (BT), weaning weight (WW) and weaning average daily gain (WADG)

*Batch ($P < 0.05$) and dam parity ($P < 0.001$) was included as fixed effect into the final models. Values in a column within a class followed by different lowercase ($P < 0.01$) or uppercase ($P < 0.001$) letters differ significantly. n.a., not applicable; n.s., not significant

Parameter		BW_{birth} (kg)*	BT ($^{\circ}\text{C}$)*	WW (kg)*	WADG (g / day)*
Sire line	A	1.43a \pm 0.009	38.6A \pm 0.02	5.77 \pm 0.070	209.8 \pm 2.57
	B	1.46b \pm 0.008	38.3B \pm 0.01	5.88 \pm 0.060	215.0 \pm 2.55
Gender	Male	1.46a \pm 0.008	38.4 \pm 0.01	5.81 \pm 0.064	211.0 \pm 2.56
	Female	1.43b \pm 0.008	38.4 \pm 0.02	5.85 \pm 0.064	213.8 \pm 2.53
TNB ^A		-0.031 \pm 0.002	n.s.	n.s.	n.s.
BW_{birth} ^A		n.a.	0.689 \pm 0.027	1.70 \pm 0.108	35.1 \pm 5.41
Weaning _{age} ^A		n.a.	n.a.	0.163 \pm 0.348	n.a.

^ALinear covariables; $P < 0.001$.

Discussion

The results of the present study showed an effect of terminal sire line on litter size. This is in agreement with previous observations by Pedersen *et al.* (2019) and Hamann *et al.* (2004). Higher TNB and NBA were observed for litters sired by Line B. Further, NWPS was 1.1 piglets higher in litters sired by Line B, in spite of a non-significant 1 % higher pre-weaning mortality. Power analysis showed that the study was of insufficient size to detect whether the observed 1 % difference in pre-weaning mortality was significant at the $P < 0.05$ level. The rearing sow has a large impact on piglet survivability (Muns *et al.* 2016; Kobek-Kjeldager *et al.* 2020). This effect was minimised by the consistent cross-fostering within sire-line groups. As a consequence of the larger litters of Sire line B, preserved by the within-line cross-fostering regime, a stronger competition between littermates can be assumed in this group. However higher BW_{birth} of these offspring than that of offspring sired by Line A could explain the similar pre-weaning mortality. This represents a higher piglet vitality under commercial conditions and a pronounced adaptability to the given environment (more piglets per litter) for this genetic line. Piglet vitality can be improved by breeding so that litter size, BW_{birth} , pre-weaning survival and WW can all be increased simultaneously.

Differences in litter size may have resulted from increased fertilisation and / or increased foetal survival (Kwon *et al.* 2015, 2018; Zigo *et al.* 2020;). It is also known that increased sperm DNA-fragmentation impairs boar fertility and embryo development (Paul *et al.* 2008; Peña Jr. *et al.* 2019) and is thus negatively correlated with litter size (Boe-Hansen *et al.* 2008; Didion *et al.* 2009; Myromslien *et al.* 2019). However, given the few litters, this may also have occurred due to

random chance (sampling effects). The low impact of genetic sire line on TNB and NBA reported in these studies (Broekhuijse *et al.* 2012a, 2012b; Wolf and Wolfová 2012; Lopez *et al.* 2017), which all used large datasets, indicates that the present study should be treated with caution in terms of effect of terminal sire line on TNB and NBA.

Although the negative association between TNB and BW_{birth} found in the current study is in line with several other studies (Quiniou *et al.* 2002; Beaulieu *et al.* 2010; Ocepek *et al.* 2017), offspring of Sire line B were born heavier. Prenatal muscle development is an important factor regarding BW_{birth} . The number of myofibrils is definitively fixed before birth (Wigmore and Stickland 1983; Gondret *et al.* 2020). Independent of the prenatal environment, the difference in BW_{birth} might result from a higher number of myofibrils in offspring sired by Line B. García-Contreras *et al.* (2020) reported a strong genetic impact on the muscle transcriptome during the prenatal phase. Hence, these results might be attributable to different weighting of the breeding traits for the different sire lines, leading to distinction in breeding progress. A within-sire-line regression was performed to substantiate this and, in fact, the negative association between litter size and BW_{birth} was significantly different (Line A: -0.0358 ± 0.002 ; Line B: -0.0282 ± 0.002 , $P < 0.05$).

Line differences in BW_{birth} were not reflected by differences in growth rates, which could be affected by cross-fostering. Regarding the higher NBA in Sire line B, increased competition for colostrum and milk between littermates can be expected, which in turn could impair subsequent growth performance. This is in agreement with Decaluwé *et al.* (2014) and Quesnel *et al.* (2012). Accordingly, no differences in WW and WADG between the sire lines were detected. These results might indicate that the effects of TNB on WW and WADG were not significant due to the stronger effect of the BW_{birth} on these traits.

Male piglets were, on average, 29.5 g (i.e. 2 %) heavier at birth than females, and this did not seem to influence WADG or WW: the gender difference was very small for both these traits, with males grew more slowly than females. This is in contrast to Marandu *et al.* (2015), but in line with Baxter *et al.* (2012) and Škorjanc *et al.* (2007) who observed heavier males at birth and did not detect a gender effect on pre-weaning growth performance. However, our data did not provide enough statistical power to allow for any meaningful significance testing here.

Previous studies indicated a strong association between BW_{birth} and piglet BT (Herpin *et al.* 2002; Caldara *et al.* 2014; Andersen and Pedersen 2016; Nuntapaitoon *et al.* 2018, 2019), which was also found in the current study. Although offspring of Line B was born heavier, they did not have a higher BT. Energy supplied from glycogen or absorbed colostrum is related to thermoregulation and insufficiency of these sources of energy results in hypothermia or starvation (Edwards 2002;

Herpin *et al.* 2002). The difference in BT was small among the sire lines, but is in line with results of Schild *et al.* (2020). Piglets are born without brown adipose tissue, but could regulate their BT by shivering thermogenesis and the metabolism of white adipose tissue (Gao *et al.* 2018; He *et al.* 2018). The larger surface area of piglets sired by Line B may have also exposed them to additional cooling as an explanation for the lower BT. For a final evaluation aimed at quantifying biological differences in thermoregulation regarding the two sire lines, further investigation is required.

Conclusion

Commercial progeny of two different sire lines varied in vitality, assessed through individual BW_{birth} and piglet survival outcomes. In combination with the effect of sire line on the litter size of their mates, overall production efficiency was higher for sows mated to Line B sires due to more piglets weaned, combined with similar growth performance to Line A piglets. Consequently, in addition to routinely comparing sire line differences in production and carcass traits, producers should evaluate how choice of sire line affects production efficiency overall in commercial sow herds. In terms of both animal welfare and production efficiency, sire-line selection to improve sire contributions to litter size of their mates, along with improved piglet vitality, provides an alternative or complementary strategy to further selection for increased litter size in dam lines.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgements

The authors thank the farm staff for their support in data recording and Dr. Alexander Mott, Göttingen University, for language editing. In addition, authors would also like to thank Dr. Pieter W. Knap, Genus-PIC, for support and comments on drafts of the manuscript. This research did not receive any specific funding.

References

- Andersen HM-L, Pedersen LJ (2016) Effect of radiant heat at the birth site in farrowing crates on hypothermia and behaviour in neonatal piglets. *animal* **10**, 128–134. doi:10.1017/S1751731115001913
- Barr DJ (2013) Random effects structure for testing interactions in linear mixed-effects models. *Frontiers in Psychology* **4**, 328. doi:10.3389/fpsyg.2013.00328
- Barr DJ, Levy R, Scheepers C, Tily HJ (2013) Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. *Journal of Memory and Language* **68**, 255–278. doi:10.1016/j.jml.2012.11.001
- Baxter EM, Jarvis S, D'Eath RB, Ross DW, Robson SK, Farish M, Nevison IM, Lawrence AB, Edwards SA (2008) Investigating the behavioural and physiological indicators of neonatal survival in pigs. *Theriogenology* **69**, 773–783. doi:10.1016/j.theriogenology.2007.12.007

- Baxter EM, Jarvis S, Palarea-Albaladejo J, Edwards SA (2012) The Weaker Sex? The Propensity for Male-Biased Piglet Mortality. *PLoS ONE* **7**, e30318. doi:10.1371/journal.pone.0030318
- Beaulieu AD, Aalhus JL, Williams NH, Patience JF (2010) Impact of piglet birth weight, birth order, and litter size on subsequent growth performance, carcass quality, muscle composition, and eating quality of pork1. *Journal of Animal Science* **88**, 2767–2778. doi:10.2527/jas.2009-2222
- Boe-Hansen GB, Christensen P, Vibjerg D, Nielsen MBF, Hedeboe AM (2008) Sperm chromatin structure integrity in liquid stored boar semen and its relationships with field fertility. *Theriogenology* **69**, 728–736. doi:10.1016/j.theriogenology.2007.12.004
- Brauer M, Curtin JJ (2018) Linear mixed-effects models and the analysis of nonindependent data: A unified framework to analyze categorical and continuous independent variables that vary within-subjects and/or within-items. *Psychological Methods* **23**, 389–411. doi:10.1037/met0000159
- Broekhuijse MLWJ, Feitsma H, Gadella BM (2012a) Artificial insemination in pigs: predicting male fertility. *Veterinary Quarterly* **32**, 151–157. doi:10.1080/01652176.2012.735126
- Broekhuijse MLWJ, Šoštarić E, Feitsma H, Gadella BM (2012b) The value of microscopic semen motility assessment at collection for a commercial artificial insemination center, a retrospective study on factors explaining variation in pig fertility. *Theriogenology* **77**, 1466-1479. doi:10.1016/j.theriogenology.2011.11.016
- Caldara FR, dos Santos LS, Machado ST, Moi M, de Alencar Nääs I, Foppa L, Garcia RG, de Kássia Silva dos Santos R (2014) Piglets' surface temperature change at different weights at birth. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **27**, 431–438. doi:10.5713/ajas.2013.13505
- Cámara L, Berrocoso JD, Coma J, López-Bote CJ, Mateos GG (2016) Growth performance and carcass quality of crossbreds pigs from two Pietrain sire lines fed isoproteic diets varying in energy concentration. *Meat Science* **114**, 69–74. doi:10.1016/j.meatsci.2015.12.013
- Cilla I, Altarriba J, Guerrero L, Gispert M, Martínez L, Moreno C, Beltrán JA, Guàrdia MD, Diestre A, Arnau J, Roncalés P (2006) Effect of different Duroc line sires on carcass composition, meat quality and dry-cured ham acceptability. *Meat Science* **72**, 252–260. doi:10.1016/j.meatsci.2005.07.010
- Cutshaw RL, Schinckel AP, Schultz MM, Fix J, Brubaker M, Einstein M (2014) Relationships among sow productivity traits within purebred and crossbred litters. *Livestock Science* **170**, 193–202. doi:10.1016/j.livsci.2014.10.007
- Decaluwé R, Maes D, Wuyts B, Cools A, Piepers S, Janssens GPJ (2014) Piglets' colostrum intake associates with daily weight gain and survival until weaning. *Livestock Science* **162**, 185–192. doi:10.1016/j.livsci.2014.01.024
- Didion BA, Kasperson KM, Wixon RL, Evenson DP (2009) Boar fertility and sperm chromatin structure status: A retrospective report. *Journal of Andrology* **30**, 655–660. doi:10.2164/jandrol.108.006254
- Dufasne M, Misztal I, Tsuruta S, Gengler N, Gray KA (2014) Genetic analysis of pig survival up to commercial weight in a crossbred population. *Livestock Science* **167**, 19–24. doi:10.1016/j.livsci.2014.05.001
- Edwards SA (2002) Perinatal mortality in the pig: environmental or physiological solutions? *Livestock Production Science* **78**, 3–12. doi:10.1016/S0301-6226(02)00180-X

- Fix JS, Cassady JP, Herring WO, Holl JW, Culbertson MS, See MT (2010) Effect of piglet birth weight on body weight, growth, backfat, and longissimus muscle area of commercial market swine. *Livestock Science* **127**, 51–59. doi:10.1016/j.livsci.2009.08.007
- Gao Y, Qimuge NR, Qin J, Cai R, Li X, Chu GY, Pang WJ, Yang GS (2018) Acute and chronic cold exposure differentially affects the browning of porcine white adipose tissue. *animal* **12**, 1435–1441. doi:10.1017/S1751731117002981
- García-Casco JM, Fernández A, Rodríguez MC, Silió L (2012) Heterosis for litter size and growth in crosses of four strains of Iberian pig. *Livestock Science* **147**, 1–8. doi:10.1016/j.livsci.2012.03.005
- García-Contreras C, Madsen O, Groenen MAM, López-García A, Vázquez-Gómez M, Astiz S, Núñez Y, Benítez R, Fernández A, Isabel B, Rey AI, González-Bulnes A, Óvilo C (2020) Impact of genotype, body weight and sex on the prenatal muscle transcriptome of Iberian pigs. *PLOS ONE* **15**, e0227861. doi:10.1371/journal.pone.0227861
- Gilleland HL, Detweiler R, Azain MJ, Pringle D (2019) Effects of sire line, slaughter weight, and gender on pork quality and yield characteristics. *Meat and Muscle Biology* **1**, 88. doi:10.22175/rmc2017.083
- Gondret F, Lefaucheur L, Perruchot MH, Farmer C, Liaubet L, Louveau I (2020) 2. Lean and fat development in piglets. 'The Suckling Weaned Piglet'. (Ed C Farmer) pp. 41–69. *Wageningen Academic Publishers: The Netherlands*.
- Hamann H, Steinheuer R, Distl O (2004) Estimation of genetic parameters for litter size as a sow and boar trait in German herdbook Landrace and Pietrain swine. *Livestock Production Science* **85**, 201–207. doi:10.1016/S0301-6226(03)00135-0
- He T, He L, Gao E, Hu J, Zang J, Wang C, Zhao J, Ma X (2018) Fat deposition deficiency is critical for the high mortality of pre-weanling newborn piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology* **9**, 66. doi:10.1186/s40104-018-0280-y
- Herpin P, Damon M, Le Dividich J (2002) Development of thermoregulation and neonatal survival in pigs. *Livestock Production Science* **78**, 25–45. doi:10.1016/S0301-6226(02)00183-5
- Knol EF, Nielsen B, Knap PW (2016) Genomic selection in commercial pig breeding. *Animal Frontiers* **6**, 15–22. doi:10.2527/af.2016-0003
- Kobek-Kjeldager C, Moustsen VA, Theil PK, Pedersen LJ (2020) Effect of litter size, milk replacer and housing on production results of hyper-prolific sows. *Animal* **14**, 824–833. doi:10.1017/S175173111900260X
- Kwon W-S, Rahman MS, Lee J-S, You Y-A, Pang M-G (2015) Improving litter size by boar spermatozoa: application of combined H33258/CTC staining in field trial with artificial insemination. *Andrology* **3**, 552–557. doi:10.1111/andr.12020
- Kwon W-S, Shin D-H, Ryu D-Y, Khatun A, Rahman MS, Pang M-G (2018) Applications of capacitation status for litter size enhancement in various pig breeds. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **31**, 842–850. doi:10.5713/ajas.17.0760
- Lopez BI, Kim TH, Makumbe MT, Song CW, Seo KS (2017) Variance components estimation for farrowing traits of three purebred pigs in Korea. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **30**, 1239–1244. doi:10.5713/ajas.17.0002
- Lukač D, Vidović V, Višnjić V, Krnjić J (2014) Duroc as a terminal sire line for fattening pigs production. *Macedonian Journal of Animal Science* **4**, 55–59.
- Luo J, Shen L, Tan Z, Cheng X, Yang D, Fan Y, Yang Q, Ma J, Tang Q, Jiang A, Jiang D, Tang G, Jiang Y, Li X, Yang R, Zhang S, Zhu L (2018) Comparison reproductive, growth performance,

- carcass and meat quality of Liangshan pig crossbred with Duroc and Berkshire genotypes and heterosis prediction. *Livestock Science* **212**, 61–68. doi:10.1016/j.livsci.2017.09.010
- Marandu N, Halimani TE, Chimonyo M, Shoniwa A, Mutibvu T (2015) Effect of within-litter birth weight variation on piglet survival and pre-weaning weight gain in a commercial herd. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* **116**, 123–129.
- Marchant-Forde JN, Lay DC, McMunn KA, Cheng HW, Pajor EA, Marchant-Forde RM (2014) Postnatal piglet husbandry practices and well-being: The effects of alternative techniques delivered in combination. *Journal of Animal Science* **92**, 1150–1160. doi:10.2527/jas.2013-6929
- Menegatti L, Silva KC, Baggio RA, Zotti ML, Silva AS, Paiano D, Menegatti L, Silva KC, Baggio RA, Zotti ML, Silva AS, Paiano D (2018) Postnatal teeth procedures affect the weight gain and welfare of piglets. *Revista MVZ Córdoba* **23**, 6429–6437. doi:10.21897/rmvz.1238
- Muns R, Nuntapaitoon M, Tummaruk P (2016) Non-infectious causes of pre-weaning mortality in piglets. *Livestock Science* **184**, 46–57. doi:10.1016/j.livsci.2015.11.025
- Myromslien FD, Tremoen NH, Andersen-Ranberg I, Fransplass R, Stenseth E-B, Zeremichael TT, van Son M, Grindflek E, Gaustad AH (2019) Sperm DNA integrity in Landrace and Duroc boar semen and its relationship to litter size. *Reproduction in Domestic Animals* **54**, 160–166. doi:10.1111/rda.13322
- Nuntapaitoon M, Muns R, Tummaruk P (2018) Newborn traits associated with pre-weaning growth and survival in piglets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **31**, 237–244. doi:10.5713/ajas.16.0962
- Nuntapaitoon M, Muns R, Theil PK, Tummaruk P (2019) Factors influencing colostrum consumption by piglets and their relationship with survival and growth in tropical climates. *Livestock Science* **224**, 31–39. doi:10.1016/j.livsci.2019.04.008
- Ocepek M, Newberry RC, Andersen IL (2017) Trade-offs between litter size and offspring fitness in domestic pigs subjected to different genetic selection pressures. *Applied Animal Behaviour Science* **193**, 7–14. doi:10.1016/j.applanim.2017.03.008
- Ogawa S, Konta A, Kimata M, Ishii K, Uemoto Y, Satoh M (2019) Estimation of genetic parameters for farrowing traits in purebred Landrace and Large White pigs. *Animal Science Journal* **90**, 23–28. doi:10.1111/asj.13120
- Panzardi A, Bernardi ML, Mellagi AP, Bierhals T, Bortolozzo FP, Wentz I (2013) Newborn piglet traits associated with survival and growth performance until weaning. *Preventive Veterinary Medicine* **110**, 206–213. doi:10.1016/j.prevetmed.2012.11.016
- Paul C, Murray AA, Spears N, Saunders PTK (2008) A single, mild, transient scrotal heat stress causes DNA damage, subfertility and impairs formation of blastocysts in mice. *Reproduction* **136**, 73–84. doi:10.1530/REP-08-0036
- Pedersen MLM, Velandar IH, Nielsen MBF, Lundeheim N, Nielsen B (2019) Duroc boars have lower progeny mortality and lower fertility than Pietrain boars. *Translational Animal Science* **3**, 885–892. doi:10.1093/tas/txz036
- Peña Jr. ST, Stone F, Gummow B, Parker AJ, Paris DBBP (2019) Tropical summer induces DNA fragmentation in boar spermatozoa: implications for evaluating seasonal infertility. *Reproduction, Fertility and Development* **31**, 590–601. doi:10.1071/RD18159
- Quesnel H, Farmer C, Devillers N (2012) Colostrum intake: Influence on piglet performance and factors of variation. *Livestock Science* **146**, 105–114. doi:10.1016/j.livsci.2012.03.010

- Quiniou N, Dagorn J, Gaudré D (2002) Variation of piglets' birth weight and consequences on subsequent performance. *Livestock Production Science* **78**, 63–70. doi:10.1016/S0301-6226(02)00181-1
- Schild S-LA, Foldager L, Rangstrup-Christensen L, Pedersen LJ (2020) Characteristics of piglets born by two highly prolific sow hybrids. *Frontiers in Veterinary Science* **7**. 355. doi:10.3389/fvets.2020.00355
- Škorjanc D, Brus M, Čandek Potokar M (2007) Effect of birth weight and sex on pre-weaning growth rate of piglets. *Archives Animal Breeding* **50**, 476–486. doi:10.5194/aab-50-476-2007
- Wigmore PM, Stickland NC (1983) Muscle development in large and small pig fetuses. *Journal of Anatomy* **137** (2), 235–245.
- Wolf J, Wolfová M (2012) Effect of service sire on litter size traits in Czech Large White and Landrace pigs. *Czech Journal of Animal Science* **57**, 220–230. doi:10.17221/5920-CJAS
- Zigo M, Maňásková-Postlerová P, Zuidema D, Kerns K, Jonáková V, Tůmová L, Bubeníčková F, Sutovsky P (2020) Porcine model for the study of sperm capacitation, fertilization and male fertility. *Cell and Tissue Research* **380**, 237–262. doi:10.1007/s00441-020-03181-1

4.3 Effects of sire line, birth weight and sex on growth performance and carcass traits of crossbred pigs under standardized environmental conditions

Kathrin Elbert¹, Neal Matthews², Ralf Wassmuth³, Jens Tetens¹

¹Department of Animal Sciences, Division of Functional Breeding, Georg-August-University Goettingen, Burckhardtweg 2, 37077 Göttingen, Germany

²Pig Improvement Company (PIC) North America, 100 Bluegrass Commons Blvd., Ste. 2200, Hendersonville, TN 37075, US

³Faculty of Agricultural Sciences and Landscape Architecture, Division Animal Breeding, University of Applied Sciences Osnabrueck, Am Kruempel 31, 49090 Osnabrück, Germany

veröffentlicht in

Archives Animal Breeding, 63(2): 367–376

URL: <https://aab.copernicus.org/articles/63/367/2020/>

DOI: [org/10.5194/aab-63-367-202](https://doi.org/10.5194/aab-63-367-202)

Abstract. A variety of available terminal sire lines makes the choice of terminal sire line complex for the pig producer. Higher birth weights are important for subsequent growth performance and a selection for this trait is also necessary in sire lines. The aim was to investigate the effect of sire line, birth weight and gender on growth performance, carcass traits and meat quality. In total 3,844 crossbred pigs from Camborough Pig Improvement Company (PIC) dams matched with either a Synthetic (A) or Piétrain (B) sire line were used. Pigs from line A grew faster ($p < 0.01$), showed higher feed intake ($p < 0.01$) and reached a higher final body weight ($p \leq 0.01$), but they had a similar efficiency ($p = 0.179$). Leaner carcasses and heavier primal cuts ($p < 0.001$) were observed in pigs from line B. Carcasses from pigs sired by line A had higher meat quality ($p < 0.001$). Males had a higher growth rate ($p \leq 0.05$), but had a poorer feed efficiency ($p < 0.01$). Heavier birth weight pigs and females had leaner, higher value carcasses with heavier primal cuts ($p < 0.001$) compared to middle and low birth weight females or males. Sire line by sex interactions was significant for growth ($p \leq 0.05$) and carcass traits ($p < 0.001$). Interaction between sire line and birth weight classes were only detected for loin depth ($p < 0.01$). Line A is preferable if the numbers of fattening pigs per fattening place and year should be improved, and line B is an option to increase leanness and carcass primal cuts.

1 Introduction

Production efficiency of fattening pigs in terms of average daily gain, feed efficiency and carcass composition is a heritable trait complex (Aymerich et al., 2019; Cámara et al., 2016; Latorre et al., 2003; Serrano et al., 2008), for which considerable heterosis effects are harnessed in crossbreeding schemes (García-Casco et al., 2012; Katoele et al., 2002; Luo et al., 2018). In commercial pig production, the dam line is usually fixed, and as a consequence of artificial insemination (AI) sire line selection is flexible. According to the BMEL (2019), currently nine pig breeding companies are operating in the European Union. The fact that each company improves and offers at least one or two basic sire lines, and selects these in different ways, leads to a variety of sire lines. This results in a complex choice for the pig producers.

Individual piglet birth weight is important for subsequent growth performance (Fix et al., 2010; Vázquez-Gómez et al., 2020). Sire line impacted piglet birth weight (Vermeulen et al., 2016); hence, a selection of purebred sires on birth weight is useful (Dufrasne et al., 2013), and the importance of sire lines in breeding programs is increasing (Dodenhoff et al., 2019). Regarding gender, controversial results with respect to growth performance can be found (Franco et al., 2014; Lee et al., 2019; Morales et al., 2011). Hence, a closer examination of sire line effects on offspring birth weight and of the implications of gender for further performance is needed.

Several studies have analyzed offspring performance in the period of fattening with various sire lines, in terms of variables such as feed composition, different breeding values and selection strategies, or various possibilities of male castration (Cámara et al., 2016; Cilla et al., 2006; De Cuyper et al., 2019; Gilleland et al., 2019; Lowell et al., 2019; Morales et al., 2011). Against this background, an integrated view on productivity from birth to finishing seems necessary. Hence, in the current study, different sire lines were mated to the same sow genotype in an integrated production system. The aim was to investigate the effect of sire line, birth weight, and gender on growth performance, carcass and meat quality traits.

2 Materials and methods

2.1 Ethics statement

All work was done in accordance with the German legal and ethical requirements for appropriate animal procedures. This study was approved by the institutional animal care and use committee of Göttingen University under file number E8-19.

2.2 Husbandry and diets

A total of 3,844 crossbred pigs divided into four batches resulted from the mating of 337 dams (Camborough PIC, a crossbred sow between Large White and Landrace, F1) to 35 terminal sires (sire line A: 15 boars; sire line B: 20 boars). Line A was the PIC337 (PIC, 100 Bluegrass Commons Blvd, Ste 2200, Hendersonville, TN 37075), which is a closed composite population for over 40 years that includes genes of Duroc, Landrace, Large White and Piétrain descent and has been selected for lean efficient growth and carcass value. A pure Piétrain population was Line B, the PIC408 (PIC, 100 Bluegrass Commons Blvd, Ste 2200, Hendersonville, TN 37075), which is selected for carcass value, growth and efficiency. The batches were organized over four consecutive fattening cycles between May 2018 and February 2019. All pigs were born, reared and fattened under the same standardized environmental conditions in a commercial closed herd system. The farm was approximately 50 km west of Leipzig, Germany, and consisted of 3100 fattening places. At birth, all pigs received an individual transponder ear tag. On their third day, males were given an intramuscular injection of meloxicam (Metacam®, 5 mg ml⁻¹) and were surgically castrated. At 71.9 ± 1.1 days of age, pigs were regrouped into the common finishing barn. All pigs were placed in groups of 40 to 64 pigs per pen according to the genetic sire line and gender. Pens were stocked to the same number of pigs per square meter and pig size. Pigs were selected for slaughtering by an estimation of the individual body weight. The weight estimation was determined by a pen reference group, consisting of two pigs, which had reached the final body condition. These pigs were weighed individually with an animal scale. Based on this reference group the other pigs were selected and their weights were estimated. Pen-wise and at each selection day for slaughtering

this process step was repeated by the same person. Pens had a slatted floor and cross feeder. Space allowance was 1 m² per pig. Pigs had ad libitum access to water. They were fed with a sensor feeding system that supplied diets appropriate to the fattening period. Table 1 presents the compositions of the diets. The average ambient temperature during the fattening period was 22.7 ± 5.1 °C. Temperature was controlled and adjusted according to the outside environment temperature by means of an automatic indoor heating and ventilation system.

Table 1 Composition and nutrient content of the pig diets (% , as-fed basis, unless otherwise indicated)

	Fattening phase [d]			
	0 to 10	11 to 30	31 to 69	70 to harvest
<i>Ingredient^a</i>				
Wheat	21.39	10.71	8.03	4.58
Barley	16.70	10.50	8.56	7.76
Corn-Cob-Mix	23.61	31.04	32.51	34.65
Molasses chip	2.77	3.18	3.17	3.17
Soybean meal	14.60	11.93	10.58	7.68
Elan 1480	5.86	5.09	4.89	4.88
Wheat starch	7.81	13.04	15.64	18.22
Wheat slop	3.04	6.09	6.08	7.29
Rye slop	4.21	8.43	10.54	11.78
<i>Nutrient content^b</i>				
ME, Pig [MJ kg ⁻¹]	13.02	13.08	13.07	13.05
Crude protein	17.17	16.86	16.47	15.67
Crude fibre	3.28	3.26	3.22	3.18
Crude fat	2.63	3.01	3.07	3.20
Crude ash	5.99	5.64	5.52	5.45
Lysine	1.13	1.06	1.02	0.97
Methionine, Cysteine	0.67	0.65	0.63	0.61
Tryptophan	0.21	0.20	0.19	0.18
Threonine	0.66	0.65	0.63	0.60
Calcium	0.83	0.74	0.72	0.72
Phosphorous	0.56	0.57	0.57	0.58
Sodium	0.25	0.24	0.25	0.26
Vitamin A [IE]	6302	5470	5258	5248
Vitamin D [IE]	1547	1343	1291	1288
Vitamin E [mg]	97	85	81	81
Phytase [FYT]	688	597	574	572
Lysine 10 ⁻¹ MJ ME, Pig	0.87	0.81	0.78	0.74
Lysine: Met + Cys	1:0.59	1:0.61	1:0.62	1:0.63
Lysine: Tryptophan	1:0.19	1:0.19	1:0.19	1:0.18
Lysine: Threonine	1:0.59	1:0.61	1:0.62	1:0.63

^a represented as % of 100 % dry matter

^b represented as % of 88 % dry matter

2.3 Growth performance

Individual birth weights (BW_{birth}) were recorded within 12 – 24 h after birth. After regrouping in the fattening barn, all pigs were weighed by pen, and an average initial body weight per pen was calculated (BW_{initial}). This date was assigned as day 0, the first day of the fattening phase on which feed consumption per pen was recorded. A single day before slaughtering the selected pigs were weighed by pen to calculate the average final body weight (BW_{final}). These data were used to calculate average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI) and the average feed conversion ratio (FCR) for each pen. The age at slaughter and the hot carcass weight (HCW) were used to calculate the individual net ADG (ADG_{net}) per pig.

2.4 Carcass traits

Pigs were transported approximately 35 km to the commercial slaughterhouse Tönnies Zerlegungs GmbH, Weissenfels, Germany. Access to feed was stopped 12 h before slaughter although water was still provided ad libitum. Offspring of both sire lines were slaughtered on the same day. Upon arrival at the slaughterhouse, pigs were rested for 3 h, with access to water. All pigs were slaughtered in accordance with Germany's current regulations on animal welfare and protection for the slaughter process (TierSchIV, 2012). Carcass composition (n=3,437 pigs) was determined using Auto-FOM III and composition traits variables included HCW, lean meat (LM), loin depth (LD), back fat thickness (FT), belly weight (BE), belly lean meat percentage (BLM), boneless ham weight (BH), loin weight (LO), boneless loin weight (BLO) and boneless shoulder weight (BSH).

2.5 Meat quality

Investigation of the meat quality was conducted due to pH measurements, whereby both genotypes were measured at the same slaughter days. The pH was measured at the M. longissimus dorsi, at 45 minutes ($pH_{45\text{min}}$) and 24 hours ($pH_{24\text{h}}$) post mortem, on the left side of the carcass between the 10th and 11th rib. The electrode of the pH / ORP meter (HI 98160 pH / ORP meter, HANNA instruments) was calibrated with buffers at pH of 4 and 7 immediately prior to taking measurements. Based on carcass temperature, the pH meter was standardized to 40.0 °C for $pH_{45\text{min}}$ and to 4.0 °C for $pH_{24\text{h}}$. Post mortem, after dressing and recording $pH_{45\text{min}}$, carcasses were suspended in air and chilled to a temperature of 4.0 °C.

2.6 Statistical analyses

Statistical analyses were performed using SAS version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary NC, USA). A descriptive analysis (mean, standard deviation, and minimum and maximum values) was carried out with the MEANS procedure. Multivariate analysis of variances were performed by the procedure MIXED with the REML method and using the Kenward-Roger adjustment for the

degrees of freedom. The Tukey test was used to compare the least-squares means (LSQ means) with the standard error (SE) for each trait. Differences were considered statistically significant at a confidence level of 95 % ($p \leq 0.05$). Appropriate two-way interactions between the fixed effects were tested and dropped from the model at a p value of >0.05 in the F test. For growth performance traits (ADG, ADFI, FCR, BW_{initial} , BW_{final}) pen was considered as the experimental unit, except for ADG_{net} and BW_{birth} . These, as well as carcass traits (HCW, LM, LD, FT, BE, BLM, BH, LO, BLO, BSH) and meat quality traits ($pH_{45\text{min}}$ and $pH_{24\text{h}}$), were analyzed based on individual measurements per pig. According to the quantiles of the frequency distribution, BW_{birth} (1.45 ± 0.35 kg, min: 0,38 kg; max: 2,65 kg) was divided into three groups (BW_Q): lower 25 % (<1.22 kg; BW_{Q1}), middle 50 % ($\geq 1.22 < 1.70$ kg, $\tilde{x}=1,46$ kg; BW_{Q2}) and upper 25 % (≥ 1.70 kg; BW_{Q3}). BW_Q was used as fixed effect for carcass traits and ADG_{net} . Moreover, sire line (G = Line A, Line B), gender (S = male, female) and batch (B=1, 2, 3, 4) were used as fixed effects for all observed traits. Pen was used as random effect within sire line and batch ($Pen_{(G \times B)}$) for growth traits. In commercial swine production, typically a defined time allotment for various phases of production is applied and initial age (AI), slaughter age (ASL) and HCW differed significant between the sire lines. Hence, it was adjusted to 72 days (AI_{adj}), to 173 days (ASL_{adj}) and to 91 kg (HCW_{adj}), respectively. In order to correct for age or HCW, these were included as linear covariables. BW_{final} was introduced into the models for ADG, ADFI and FCR as a linear covariable. Table 2 contains all used effects that were included in the final models for growth and carcass traits.

Table 2 Final models with the p values of the fixed effects, random effects, covariates and interactions for growth traits, carcass traits and meat quality

	Fixed				Random	Covariates				Interaction		
	G	S	B	BW_Q	$Pen_{(G \times B)}$	BW_{final}	AI_{adj}	ASL_{adj}	HCW_{adj}	GxS	GxB	GxBW _Q
<i>Growth trait</i>												
BW_{initial}	0.743	0.495	0.245		0.366		0.166					
BW_{final}	**	***	***		***			0.197				
ADG_{net}	***	***	***	***	***					**		
ADG	**	*	*		***	**				*		
ADFI	**	***	***		0.975	***				**	*	
FCR	0.179	**	***		***	0.840						
Age_{initial}	***	0.268	***									***
Age_{SL}	***	***	***							**		***
<i>Carcass trait</i>												
HCW	***	***	***	***				***		***	***	
LM	***	***	***	***					***	***	***	
LD	***	***	***	***					***	***	***	**
FT	0.423	***	***	***					***	***	***	
BE	***	***	***	***					***	***	***	
BLM	***	***	***	***					***	***	***	
BH	***	***	***	***					***	***	***	
LO	***	***	***	***					***	***	***	
BLO	***	***	***	***					***	***	***	
BSH	***	***	***	***					***	***	***	
<i>Meat quality</i>												
$pH_{45\text{min}}$	0.061	0.239	***						0.862			
$pH_{24\text{h}}$	***	0.444	***						***		**	

* $p \leq 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

3 Results

The descriptive statistics of all investigated traits according the sire line are in Table 3. A total of 73 pens were used to calculate growth performance. ADG_{net} and carcass traits were based on 3437 carcasses. Overall, 672 pH_{45min} and 1895 pH_{24h} measurements were collected. The LSQ means according to the sire line are reported in Table 4. Offspring of both sire lines exhibited the same $BW_{initial}$ ($p=0.743$). During the fattening phase, pigs sired by line A grew 48.8 g d^{-1} faster ($p<0.01$) and reached 16.5 g d^{-1} higher ADG_{net} ($p<0.001$) as compared to pigs sired by line B. A 60 g d^{-1} higher ADFI ($p<0.01$), but the same feed efficiency as sire line B ($p=0.179$) was detected at sire line A. These offspring were 3.3 kg heavier in BW_{final} ($p<0.01$). Based on a 90.0 kg weight gain at finishing, 6 fewer fattening days were needed. Regarding the carcass traits, HCW was 1.3 kg higher for offspring of sire line A based on the same age at slaughtering. Sire line A had 340 g more BE ($p<0.001$) but no difference in FT ($p=0.423$) compared to pigs from sire line B. Pigs sired by line B had a leaner carcass with heavier primal cuts ($p<0.001$). No difference between sire lines ($p=0.061$) was detected for pH_{45min} , but offspring sired by line B had a lower pH_{24h} ($p<0.001$).

Table 3 Descriptive statistics with number of observations, mean and standard deviation for growth traits, carcass traits, and meat quality according to the sire line

	Sire line A			Sire line B		
	n	Mean	SD	n	Mean	SD
<i>Growth traits</i>						
ADG_{net} [g d^{-1}]	1597	534.10	56.55	1840	517.67	52.87
ADG [g d^{-1}]	33	899.45	51.44	40	835.18	88.28
ADFI [kg d^{-1}]	33	2.29	0.21	40	2.20	0.24
FCR [kg kg^{-1}]	33	2.53	0.18	40	2.60	0.20
$BW_{initial}$ [kg]	33	27.17	2.82	40	27.80	2.38
BW_{final} [kg]	33	115.93	5.11	40	112.29	6.04
$age_{initial}$ [d]	1597	71.69	1.03	1840	72.14	1.12
age_{sl} [d]	1597	171.65	5.87	1840	174.30	5.76
<i>Carcass traits</i>						
HCW [kg]	1597	91.50	8.51	1840	90.07	8.11
LM [%]	1597	59.74	3.26	1840	60.45	3.37
LD [mm]	1597	62.68	4.35	1840	66.50	4.88
FT [mm]	1597	14.03	2.71	1840	13.83	2.66
BE [kg]	1597	13.27	1.67	1840	12.67	1.62
BLM [%]	1597	57.27	4.20	1840	58.16	4.38
BH [kg]	1597	17.47	1.63	1840	17.82	1.60
LO [kg]	1597	10.98	1.06	1840	11.04	1.02
BLO [kg]	1597	6.86	0.75	1840	7.05	0.74
BSH [kg]	1597	8.65	0.74	1840	8.59	0.71
<i>Meat quality</i>						
pH_{45min}	271	6.51	0.27	401	6.55	0.23
pH_{24h}	872	5.43	0.14	1023	5.39	0.14

Table 4 LSQ mean (with SE as index) for growth traits, carcass traits and meat quality according to the sire line

	Sire line	
	A	B
<i>Growth traits</i>		
BW _{initial} ¹ [kg]	27.61 _{0.53}	27.36 _{0.41}
BW _{final} ² [kg]	115.34 ^a _{0.84}	112.03 ^b _{0.73}
ADG _{net} [g d ⁻¹]	531.11 ^a _{3.09}	514.65 ^b _{2.93}
ADG [g d ⁻¹]	890.01 ^a _{10.51}	841.20 ^b _{9.87}
ADFI [kg d ⁻¹]	2.27 ^a _{0.01}	2.21 ^b _{0.01}
FCR [kg kg ⁻¹]	2.54 _{0.02}	2.59 _{0.02}
<i>Carcass traits</i>		
HCW ³ [kg]	91.08 ^a _{0.18}	89.83 ^b _{0.17}
LM ³ [%]	59.75 ^a _{0.07}	60.40 ^b _{0.06}
LD ³ [mm]	62.51 ^a _{0.09}	66.87 ^b _{0.09}
FT ³ [mm]	13.99 _{0.05}	13.93 _{0.05}
BE ³ [kg]	13.18 ^a _{0.02}	12.84 ^b _{0.01}
BLM ³ [%]	57.27 ^a _{0.09}	58.10 ^b _{0.08}
BH ³ [kg]	17.83 ^a _{0.02}	17.97 ^b _{0.02}
LO ³ [kg]	10.92 ^a _{0.01}	11.16 ^b _{0.01}
BLO ³ [kg]	6.82 ^a _{0.01}	7.12 ^b _{0.01}
BSH ³ [kg]	8.60 ^a _{0.01}	8.68 ^b _{0.01}
<i>Meat quality</i>		
pH _{45min} ³	6.51 _{0.02}	6.54 _{0.02}
pH _{24h} ³	5.47 ^a _{0.01}	5.43 ^b _{0.01}

¹Initial age adjusted to 72 days²Slaughter age adjusted to 173 days³HCW adjusted to 91 kg^{a-b} Values within a row with different superscripts differ significantly

Males grew faster (ADG: 883.37 vs. 847.83 g d⁻¹, p<0.05; ADG_{net}: 532.64 vs. 513.11 g d⁻¹, p<0.001), had a higher feed intake (ADFI: 2.31 vs. 2.16 kg d⁻¹, p<0.001) but were less efficient (FCR: 2.62 vs. 2.51 kg kg⁻¹, p<0.01) compared to females. Consequently, males reached a higher BW_{final} (115.56 vs. 111.80, p<0.001) and a 2.05 kg heavier HCW (p<0.001). Females had a better carcass value and were 3.04 % leaner with 2.39 mm thicker LD and 396 g less BE (p<0.001) but had heavier primal cuts (p<0.001). Neither pH_{45min} nor pH_{24h} were affected by sex (p≥0.05). The LSQ means of the significant interactions between sire line and sex are presented in Table 5. Males and females sired by line A did not differ in ADG_{net} and ADG (p≥0.05). In sire line B a faster growth (p<0.01) and higher feed intake (p<0.01) were detected for males compared to females. HCW of males sired by this line did not differ from males and females of sire line A. Females of sire line B were lighter in HCW compared to all other sex and genotype variations. Regardless of sire line, similar ADG_{net}, ADG, ADFI, HCW, LM, FT, BLM and BSH between males was observed (p≥0.05). Females sired from line B reached heavier BH, LO, BLO and BSH compared to the other sex and genotype variations.

Table 5 LSQ mean (with SE as index) of the significant interactions between sire line and sex for growth traits and carcass traits

	Sire line A		Sire line B	
	male	female	male	female
<i>Growth traits</i>				
ADG _{net} [g d ⁻¹]	536.00 ^a _{3.90}	526.72 ^a _{3.97}	528.69 ^a _{3.79}	499.49 ^b _{3.88}
ADG [g d ⁻¹]	893.21 ^a _{14.9}	886.79 ^a _{14.4}	873.54 ^a _{13.0}	808.87 ^b _{15.3}
ADFI [kg d ⁻¹]	2.31 ^a _{0.02}	2.21 ^b _{0.02}	2.31 ^a _{0.02}	2.11 ^c _{0.02}
<i>Carcass traits</i>				
HCW ¹ [kg]	91.66 ^a _{0.26}	90.52 ^b _{0.26}	91.31 ^{ab} _{0.24}	88.35 ^c _{0.25}
LM ² [%]	58.49 ^a _{0.09}	61.01 ^b _{0.09}	58.64 ^a _{0.09}	62.17 ^c _{0.09}
LD ² [mm]	61.50 ^a _{0.13}	63.48 ^b _{0.13}	65.40 ^c _{0.13}	68.31 ^d _{0.13}
FT ² [mm]	14.81 ^a _{0.07}	13.07 ^b _{0.07}	15.17 ^a _{0.07}	12.70 ^c _{0.07}
BE ² [kg]	13.34 ^a _{0.02}	13.02 ^b _{0.02}	13.07 ^{bc} _{0.02}	12.60 ^d _{0.02}
BLM ² [%]	55.67 ^a _{0.12}	58.88 ^b _{0.12}	55.78 ^a _{0.11}	60.41 ^c _{0.12}
BH ² [kg]	17.05 ^a _{0.03}	17.70 ^b _{0.03}	17.52 ^c _{0.03}	18.43 ^d _{0.03}
LO ² [kg]	10.75 ^a _{0.01}	11.08 ^b _{0.01}	10.92 ^c _{0.01}	11.40 ^d _{0.01}
BLO ² [kg]	6.66 ^a _{0.01}	6.99 ^b _{0.01}	6.90 ^c _{0.01}	7.35 ^d _{0.01}
BSH ² [kg]	8.50 ^a _{0.01}	8.71 ^b _{0.01}	8.51 ^a _{0.01}	8.83 ^c _{0.01}

¹Slaughter age adjusted to 173 days²HCW adjusted to 91 kg^{a-d} Values within a row with different superscripts differ significantly ($p < 0.01$)

Growth rate and carcass traits according to the birth weight classes are presented in Table 6. Low birth weight pigs (BW_{Q1}) had the lowest ADG_{net} compared to pigs of the middle (BW_{Q2}) and the heaviest (BW_{Q3}) birth weight classes. Pigs in the BW_{Q3} reached the fastest growth rate ($p < 0.001$). Moreover, pigs HCW differed correspondingly among the birth weight groups ($p < 0.001$). Pigs in BW_{Q1} were 4.66 kg lighter compared to pigs of BW_{Q2} and 5.82 kg lighter than pigs belonging to BW_{Q3}. Fatter carcasses based on a thicker FT and a heavier BE, as well as a lower percentage in LM and BLM, were found for pigs of BW_{Q1} but not for pigs of BW_{Q2} and BW_{Q3} ($p < 0.001$). Furthermore, birth weight was positively related to the weight of BH, LO, BLO and BSH, and a difference was detected among the BW_Q ($p < 0.001$). The interaction between BW_Q × sire line was significant for LD ($p < 0.01$), in sire line A, similar LD was detected for pigs of BW_{Q2} and BW_{Q3} (62.79 vs. 62.98 mm, $p \geq 0.05$), whereby all other BW_Q and genotype variations differed ($p < 0.001$).

Table 6 LSQ mean (with SE as index) of growth and carcass traits according to the birth weight classes (BW_Q)

	BW _Q		
	Q ₁	Q ₂	Q ₃
<i>Growth trait</i>			
ADG _{net} [g d ⁻¹]	499.47 ^a 2.54	527.40 ^b 2.39	541.76 ^c 2.54
<i>Carcass traits</i>			
HCW ¹ [kg]	87.23 ^a 0.25	91.89 ^b 0.17	93.05 ^c 0.25
LM ² [%]	59.00 ^a 0.09	60.26 ^b 0.06	60.97 ^c 0.09
LD ² [mm]	63.70 ^a 0.13	64.89 ^b 0.09	65.49 ^c 0.13
FT ² [mm]	14.78 ^a 0.07	13.82 ^b 0.05	13.29 ^c 0.07
BE ² [kg]	13.26 ^a 0.02	12.96 ^b 0.01	12.79 ^c 0.02
BLM ² [%]	56.31 ^a 0.12	57.93 ^b 0.08	58.81 ^c 0.12
BH ² [kg]	17.33 ^a 0.03	17.75 ^b 0.02	17.95 ^c 0.03
LO ² [kg]	10.88 ^a 0.01	11.07 ^b 0.009	11.17 ^c 0.01
BLO ² [kg]	6.81 ^a 0.01	7.00 ^b 0.009	7.10 ^c 0.01
BSH ² [kg]	8.52 ^a 0.01	8.66 ^b 0.007	8.73 ^c 0.01

¹Slaughter age adjusted to 173 days² HCW adjusted to 91 kg^{a-c} Values within a row with different superscripts differ significantly (p<0.001)

4 Discussion

Higher ADG was observed for pigs sired by sire line A, which is a reason for the heavier BW_{final} at a fixed slaughter age and may enable more pigs per fattening place and year. This is in line with several other studies applying the same approach (Aymerich et al., 2019; Cámara et al., 2016; Lee et al., 2019; Serrano et al., 2008), in which differences between 2 and 6 kg for BW_{final} (p≤0.05) and 41 and 152 g d⁻¹ for ADG (p≤0.05) among crossbred pigs were observed. It is to be expected that the higher ADFI for pigs sired by line A is linked to the faster growth rate of these offspring. This assumption is generally in line with Kavlak and Uimari (2019) and Labroue et al. (1997), who reported a positive correlation between feed consumption per visit and growth rate. A greater emphasis on growth in line A in competition with line B, is presumed. As a consequence of faster growth, a heavier belly weight and a fatter carcass of crossbreeds sired by line A were detected. According to Kavlak and Uimari (2019), a positive genetic correlation between ADFI and back fat thickness (r=0.60 - 0.72) does exist. Consequently, pigs consuming more feed tended to gain more fat. A limited protein disposition capacity of pigs sired by line A with respect to the high feed intake could provide an explanation for the fat accumulation in the carcass and is generally in agreement with finding of Hermesch et al. (2000). Additionally, a higher ADFI is linked with a poorer feed efficiency (Godinho et al., 2018a). Feed efficiency was equal for both lines (p=0.179), which indicates comparable energy demands for maintenance. But in consideration of the difference in carcass composition it is to expect that the protein requirements differ between the sire lines. In particular, it is well known that growth-emphasized genotypes had a higher protein requirement

and need a closer energy-protein ratio to exploit their growth potential (Emmans and Kyriazakis, 1997; Quiniou et al., 1996; Whittemore et al., 2001). Metabolic differences in protein disposition and energy metabolisms between the sire lines could be an explanation for the findings of the current study. Saintilan et al. (2015) reported 13 % higher average digestible lysine requirements for the 25 % most efficient pigs compared to the 25 % least efficient pigs. Furthermore, the effect of sire line might be attributable to differences in additive genetic variance and thus heritability between lines, leading to different breeding progress. It can be assumed that the genetic progress realized under the diet used on the test farm is not completely transferable when using other diets, like in the current trial. In this context, Godinho et al. (2018b, 2018c) reported impairment of lipid disposition and residual energy intake in pigs on different diets due to genotype by feed interactions, which could be a reason for the observed differences in growth performance and carcass value. Moreover, findings of Škorput and Luković (2018) suggest a range of additive genetic variance for ADG from $586.09 \pm 55.73 \text{ g d}^{-1}$ in the Large White population to $1,190.03 \pm 139 \text{ g d}^{-1}$ in Piétrain populations.

As expected, heavier HCW was detected for sire line A due to faster growth rate. This is in line with Miar et al. (2014), who reported a strong correlation between growth rate and HCW ($r=0.75 \pm 0.28$; $p \leq 0.05$). According to Dufrasne et al. (2013) and Zumbach et al. (2007), with 2.03% and 6.7%, respectively, sire line explained only low proportions of genetic variance for final live body weight. It is even known that heritability ranges between 0.15 and 0.39 depending on the estimation method and the population (Dufrasne et al., 2014; Fragomeni et al., 2016; Holl et al., 2008; Khanal et al., 2019; Miar et al., 2014). Against expectations, the FT was equal in both sire lines. However, the ratio of LD and FT in consideration of sire line suggested a lower FT, which is resulting from a higher lean growth potential in pigs sired by line B. Additionally, the current results are in line with van Wijk et al. (2005), who reported that selection for higher growth led to effects decreasing most primal and sub-primal cut weights. Selection for leanness in Piétrain sire has resulted in reduced feed intake capacity (Labroue et al., 1999; Lean et al., 1972). Hence, the leaner carcass with lighter BE is linked to a higher muscle growth potential of pigs sired by sire line B. Findings of Correa et al. (2008) and Lowell et al. (2019) support these results. However, as discussed above a higher protein requirement in combination with an inappropriate energy level could also be an explanation for the poorer carcass value of the offspring sired by line A. Furthermore, based on a nonlinear association between daily growth and muscle growth, pigs with more than 60 % lean meat tend to grow slower (Argemí-Armengol et al., 2019), which is consistent with the results of the current study.

Males reached a higher BW_{final} at the same slaughtering age as compared to females, which is linked to 35.5 g d^{-1} faster growth rate. Additionally, FCR was better by 0.11 in females, which agrees with the findings of Serrano et al. (2008) and Renaudeau et al. (2006), but is in contrast to Lee et al. (2019) and Peinado et al. (2008). The poorer FCR of males is related to the moderately faster growth rate and the 160 g d^{-1} higher ADFI. The PD_{max} is the point of maximum protein accretion of a pig and up to this plateau, protein growth responds linearly to feed intake (Campbell et al., 1985; Whittemore and Fawcett, 1976). Consequently, pigs with a high feed intake reach this point earlier and tend to accumulate fat tissue as the PD_{max} is exceeded (Lewis and Lee Southern, 2000; Tullis, 1982). This might explain the fatter carcasses of male pigs in the current study. Generally, it is expected that females have a higher ratio of protein accretion relative to lipid accretion, and this is in agreement with Noblet et al. (1999), Schinckel et al. (2008) and Serrano et al. (2008). Further insight into biological differences between the sire lines can be drawn from the significant interactions between sire line and sex, which were also found by Lowell et al. (2019) and Morales et al. (2011). Generally, these interactions clearly indicate that pigs sired by line A grew faster than pigs sired by line B and that pigs from sire line B showed a leaner carcass with heavier primal cuts compared to the other sire line. Similar growth rate (ADG_{net} , ADG) of males and females sired by line A suggested a more homogenous growth performance in offspring of this sire line. However, the differences in carcass traits between males and females were smaller in sire line A and supported the homogenous growth of this line. Moreover, only females of sire line B differed in growth rate (ADG_{net} , ADG) compared to all other variations, which is explained by the significant lower ADFI in comparison with males regardless of the sire line. Neither a difference in growth rate (ADG_{net} , ADG) nor in ADFI between both male groups was detected, but females differed significantly. Regarding a different protein requirement between the sire lines, an explanation could be that the females sired by line A better exploited their growth potential compared to the males of the same sire line, despite the fact that the energy-protein ratio does not seem to be optimal for this genotype. Findings by Chen et al. (1999) and Hansen and Lewis (1993) indicated different responses with deficient or excessive protein intake between castrated males and females, and Martins et al. (2012) reported differences in protein requirements between different genotypes. Hence, a better adaptability to the available level of protein and energy content of females sired by line A in contrast to the males of the same genotype is an explanation for the interactions between sire line and sex regarding the growth rate.

Regarding the birth weight, the ADG_{net} increased with increasing BW_Q and indicated that heavier birth weight pigs grow faster with improving subsequent performance, which is in line with Fix et al. (2010) and Vázquez-Gómez et al. (2020). However, Douglas et al. (2013) reported that birth

weight had less impact on subsequent growth performance compared to weaning weight or initial weight in the finisher barn. Nevertheless, in the current study fatter carcasses in pigs of the BW_{Q1} and BW_{Q2} compared to heavier birth weight pigs of BW_{Q3} were detected and are in agreement with the findings of Nissen et al. (2004) and Rehfeldt and Kuhn (2006). A decreasing proportion of ham, loin and belly in the lightest birth weight classes suggested disadvantages in growth performance, in terms of less ADG, lower ADFI and a poorer FCR. These findings were generally in line with Gondret et al. (2005) and Rehfeldt et al. (2008). However, lower belly weight in pigs with higher birth weight may be explained by further selection for higher proportion of lean meat. In agreement with Kim et al. (2017), stronger selection for lean meat is linked to less fat disposition in belly muscle and leads to lower belly weight. Moreover, no interactions between sire line and BW_Q indicated that offspring of both sire lines show the same biological relation between birth weight and carcass traits, except for LD. Hence, similar LD between the BW_{Q2} and the BW_{Q3} class in sire line A ($p \geq 0.05$) indicated that an additional gain of ≥ 1.70 kg birth weight would not lead to a further meat gain within this genetic line. Consequently, biological limit in this trait seems to be reached, and further selection in sire line A on birth weight would not increase the LD. According to Beaulieu et al. (2010) and Gondret et al. (2005), it is not unexpected that carcass leanness is not primarily influenced by birth weight. Other factors, such as initial and final body weight, the level of feed intake, growth rate, feed processing and delivery, and genetic potential were also involved (Patience et al., 2015). This interaction supported a difference in protein and energy metabolism between the sire lines.

Based on the findings of Latorre et al. (2003), Lloveras et al. (2008), Lowell et al. (2019) and Miller et al. (2000), pH values in this study were generally within normal range. Unlike Miller et al. (2000) and Latorre et al. (2003) but in agreement with Kim et al. (2017) and Fecke (2013), pH_{45min} was not affected by genotype. However, pigs sired by sire line B showed lower pH_{24h} , indicating poorer meat quality. Drip losses are moderately to strongly negatively correlated with the texture of loin (-0.23 ± 0.06), belly weight (-0.46 ± 0.14) and pH_{24h} (-0.99 ± 0.49) ($p \leq 0.05$) (Miar et al., 2014). Similar results were reported by Kim et al. (2017) and Otto et al. (2006). Consequently, poorer water retention capacity among offspring of sire line B seems likely, and the leaner carcasses of this offspring back up this result. It suggests that higher leanness in line B and in females means poorer meat quality.

5 Conclusion

This research confirms differences in growth performance and carcass characteristics between crossbreeds of two different sire lines. Pigs sired by line A grow faster and had higher ADFI and the same FCR compared to offspring of line B. This resulted in a fatter carcass and heavier belly

weights, which indicated a better meat quality due to a higher pH_{24h}, in crossbreeds sired by line A. Leaner carcasses with heavier primal cuts were detected at offspring of line B and at heavier birth weight pigs. Males grew faster and reached a heavier but also fatter carcass. Regardless of sire line, piglets with heavier birth weight were leaner and had heavier primal and boneless primal weights. Except for LD, no interactions between sire line and BW_Q were detected, indicating subsequent growth was equal in both lines, depending on birth weight. The detected interaction for LD between sire line and BW_Q as well as sire line by sex interactions indicated different protein requirements between the genotypes. In conclusion, in a fattening production system, paternal line A is preferable if a producer wishes to increase the number of fattening pigs per fattening place and year. Additionally, in the dam line, emphasis should be put on leanness. Breeding with paternal line B is a good option for a finisher producer if the goal is to increase leanness and carcass primal cuts.

Data availability. All necessary data are provided within the article.

Author contribution. KE and JT wrote, edited and revised the paper. KE and NM designed the experiment and KE carried it out. KE, NM, RW and JT reviewed and approved the final paper.

Competing interests. The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgments. The authors would like to thank the farm staff for their support in data recording.

Financial support. This open-access publication was funded by the University of Göttingen.

Review statement. This paper was edited by Steffen Maak and reviewed by Jörn Bennewitz and one anonymous referee.

References

- Argemí-Armengol, I., Villalba, D., Ripoll, G. and Álvarez-Rodríguez, J.: Genetic but not lean grade impact on growth, carcass traits and pork quality under organic husbandry, *Livestock Science*, 227, 75–81, doi:10.1016/j.livsci.2019.07.001, 2019.
- Aymerich, P., Gasa, J., Bonet, J., Coma, J. and Solà-Oriol, D.: The effects of sire line, sex, weight and marketing day on carcass fatness of non-castrated pigs, *Livestock Science*, 228, 25–30, doi:10.1016/j.livsci.2019.07.021, 2019.
- Beaulieu, A. D., Aalhus, J. L., Williams, N. H. and Patience, J. F.: Impact of piglet birth weight, birth order, and litter size on subsequent growth performance, carcass quality, muscle composition, and eating quality of pork, *Journal of Animal Science*, 88(8), 2767–2778, doi:10.2527/jas.2009-2222, 2010.

- BMEL: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Anerkannte Zuchtunternehmen in Deutschland und der EU.
<https://tgrdeu.genres.de/veroeffentlichungvoninformationengemaesstierzuchtrecht/zuechtereinigungen> (Accessed 27 December 2019) 2019.
- Cámara, L., Berrocoso, J. D., Coma, J., López-Bote, C. J. and Mateos, G. G.: Growth performance and carcass quality of crossbreds pigs from two Piétrain sire lines fed isoproteic diets varying in energy concentration, *Meat Science*, 114, 69–74, doi:10.1016/j.meatsci.2015.12.013, 2016.
- Campbell, R. G., Taverner, M. R. and Curic, D. M.: Effects of sex and energy intake between 48 and 90 kg live weight on protein deposition in growing pigs, *Animal Science*, 40(3), 497–503, doi:10.1017/S0003356100040198, 1985.
- Chen, H.-Y., Lewis, A. J., Miller, P. S. and Yen, J. T.: The effect of excess protein on growth performance and protein metabolism of finishing barrows and gilts, *J. Anim. Sci.*, 77(12), 3238–3247, doi:10.2527/1999.77123238x, 1999.
- Cilla, I., Altarriba, J., Guerrero, L., Gispert, M., Martínez, L., Moreno, C., Beltrán, J. A., Guàrdia, M. D., Diestre, A., Arnau, J. and Roncalés, P.: Effect of different Duroc line sires on carcass composition, meat quality and dry-cured ham acceptability, *Meat Science*, 72(2), 252–260, doi:10.1016/j.meatsci.2005.07.010, 2006.
- Correa, J. A., Gariépy, C., Marcoux, M. and Faucitano, L.: Effects of growth rate, sex and slaughter weight on fat characteristics of pork bellies, *Meat Science*, 80(2), 550–554, doi:10.1016/j.meatsci.2007.12.018, 2008.
- De Cuyper, C., Tanghe, S., Janssens, S., Van den Broeke, A., Van Meensel, J., Aluwé, M., Ampe, B., Buys, N. and Millet, S.: The effect of Piétrain sire on the performance of the progeny of two commercial dam breeds: a pig intervention study, *Animal*, 1–8, doi:10.1017/S1751731119000429, 2019.
- Dodenhoff, J., Sinz, E., Helmreich, S. and Obermaier, S.: Neue Merkmale in der Schweinezucht und neue Wege in der Datenerfassung, Vortrag der LfL-Jahrestagung 2019, Schweinehaltung, neue Herausforderungen meistern! 27.11.2019 in Ergolding, Tagungsband, ISSN 1611-4159, 19–24, 2019.
- Douglas, S. L., Edwards, S. A., Sutcliffe, E., Knap, P. W. and Kyriazakis, I.: Identification of risk factors associated with poor lifetime growth performance in pigs, *Journal of Animal Science*, 91(9), 4123–4132, doi:10.2527/jas.2012-5915, 2013.
- Dufresne, M., Misztal, I., Tsuruta, S., Holl, J., Gray, K. A. and Gengler, N.: Estimation of genetic parameters for birth weight, preweaning mortality, and hot carcass weight of crossbred pigs, *Journal of Animal Science*, 91(12), 5565–5571, doi:10.2527/jas.2013-6684, 2013.
- Dufresne, M., Misztal, I., Tsuruta, S., Gengler, N. and Gray, K. A.: Genetic analysis of pig survival up to commercial weight in a crossbred population, *Livestock Science*, 167, 19–24, doi:10.1016/j.livsci.2014.05.001, 2014.
- Emmans, G. C. and Kyriazakis, I.: Models of pig growth: problems and proposed solutions, *Livest. Prod. Sci.*, 51(1), 119–129, doi:10.1016/S0301-6226(97)00061-4, 1997.
- Fecke, A.: Physiologische und genetische Einflüsse auf die Qualität von Schweinefleisch aus baden-württembergischen Gebrauchskreuzungen, Ph.D thesis, University Hohenheim, Germany, 222 pp., 2013.

- Fix, J. S., Cassady, J. P., Herring, W. O., Holl, J. W., Culbertson, M. S. and See, M. T.: Effect of piglet birth weight on body weight, growth, backfat, and longissimus muscle area of commercial market swine, *Livest. Sci.*, 127(1), 51–59, doi:10.1016/j.livsci.2009.08.007, 2010.
- Fragomeni, B. O., Lourenco, D. A. L., Tsuruta, S., Bradford, H. L., Gray, K. A., Huang, Y. and Misztal, I.: Using single-step genomic best linear unbiased predictor to enhance the mitigation of seasonal losses due to heat stress in pigs, *Journal of Animal Science*, 94(12), 5004–5013, doi:10.2527/jas.2016-0820, 2016.
- Franco, D., Vazquez, J. A. and Lorenzo, J. M.: Growth performance, carcass and meat quality of the Celta pig crossbred with Duroc and Landrace genotypes, *Meat Science*, 96(1), 195–202, doi:10.1016/j.meatsci.2013.06.024, 2014.
- García-Casco, J. M., Fernández, A., Rodríguez, M. C. and Silió, L.: Heterosis for litter size and growth in crosses of four strains of Iberian pig, *Livestock Science*, 147(1–3), 1–8, doi:10.1016/j.livsci.2012.03.005, 2012.
- Gilleland, H. L., Detweiler, R., Azain, M. J. and Pringle, D.: Effects of Sire Line, Slaughter Weight, and Gender on Pork Quality and Yield Characteristics, *Meat and Muscle Biology*, 1(3), 88–88, doi:10.221751/rmc2017.083, 2019.
- Godinho, R. M., Bergsma, R., Silva, F. F., Sevillano, C. A., Knol, E. F., Lopes, M. S., Lopes, P. S., Bastiaansen, J. W. M. and Guimarães, S. E. F.: Genetic correlations between feed efficiency traits, and growth performance and carcass traits in purebred and crossbred pigs, *J. Anim. Sci.*, 96(3), 817–829, doi:10.1093/jas/skx011, 2018a.
- Godinho, R. M., Bastiaansen, J. W. M., Sevillano, C. A., Silva, F. F., Guimarães, S. E. F. and Bergsma, R.: Genotype by feed interaction for feed efficiency and growth performance traits in pigs, *J. Anim. Sci.*, 96(10), 4125–4135, doi:10.1093/jas/sky304, 2018b.
- Godinho, R. M., Bergsma, R., Sevillano, C. A., Silva, F. F. and Guimarães, S. E. F.: Genotype by feed interaction in grower-finisher pigs fed different diets, *Conference Paper, World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 2018c.
- Gondret, F., Lefaucheur, L., Louveau, I., Lebret, B., Pichodo, X. and Le Cozler, Y.: Influence of piglet birth weight on postnatal growth performance, tissue lipogenic capacity and muscle histological traits at market weight, *Livestock Production Science*, 93(2), 137–146, doi:10.1016/j.livprodsci.2004.09.009, 2005.
- Hansen, B. C. and Lewis, A. J.: Effects of dietary protein concentration (corn:soybean meal ratio) on the performance and carcass characteristics of growing boars, barrows, and gilts: mathematical descriptions, *J. Anim. Sci.*, 71(8), 2122–2132, doi:10.2527/1993.7182122x, 1993.
- Hermesch, S., Luxford, B. G. and Graser, H.-U.: Genetic parameters for lean meat yield, meat quality, reproduction and feed efficiency traits for Australian pigs: 2. Genetic relationships between production, carcass and meat quality traits, *Livest. Prod. Sci.*, 65(3), 249–259, doi:10.1016/S0301-6226(00)00151-2, 2000.
- Holl, J. W., Rohrer, G. A., Shackelford, S. D., Wheeler, T. L. and Koohmaraie, M.: Estimates of genetic parameters for kyphosis in two crossbred swine populations, *Journal of Animal Science*, 86(8), 1765–1769, doi:10.2527/jas.2007-0628, 2008.
- Katoele, J., Knol, E. F. and van der Lende, T.: Effect of inbreeding and heterosis on piglet survival in a large commercial dataset, Montpellier, France., 2002.

- Kavlak, A. T. and Uimari, P.: Estimation of heritability of feeding behaviour traits and their correlation with production traits in Finnish Yorkshire pigs, *J Anim Breed Genet*, 136(6), 484–494, doi:10.1111/jbg.12408, 2019.
- Khanal, P., Maltecca, C., Schwab, C., Gray, K. and Tiezzi, F.: Genetic parameters of meat quality, carcass composition, and growth traits in commercial swine, *Journal of Animal Science*, 97(9), 3669–3683, doi:10.1093/jas/skz247, 2019.
- Kim, J.-M., Lee, S.-H. and Ryu, Y.-C.: Comparisons of meat quality and muscle fibre characteristics on multiple pig breeds and sexes using principal component analysis, *Anim. Prod. Sci.*, 58(11), 2091, doi:10.1071/AN16223, 2017.
- Labroue, F., Guéblez, R. and Sellier, P.: Genetic parameters of feeding behaviour and performance traits in group-housed Large White and French Landrace growing pigs, *Genet Sel Evol*, 29(4), 451, doi:10.1186/1297-9686-29-4-451, 1997.
- Labroue, F., Guéblez, R., Meunier-Salaün, M.-C. and Sellier, P.: Feed intake behaviour of group-housed Piétrain and Large White growing pigs, *Ann. Zootech.*, 48(4), 247–261, doi:10.1051/animres:19990402, 1999.
- Latorre, M. A., Lázaro, R., Gracia, M. I., Nieto, M. and Mateos, G. G.: Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight, *Meat Science*, 65(4), 1369–1377, doi:10.1016/S0309-1740(03)00059-7, 2003.
- Lean, I. J., Curran, M. K., Duckworth, J. E. and Holmes, W.: Studies on Belgian Piétrain pigs 1. A comparison of Piétrain, Landrace and Piétrain Landrace crosses in growth, carcass characteristics and meat quality, *Animal Science*, 15(1), 1–9, doi:10.1017/S0003356100011156, 1972.
- Lee, J. H., Song, M. H., Yun, W., Liu, S. D., Lee, C. H., Oh, H. J., An, J. S., Yu, D. J., Kim, H. B. and Cho, J. H.: Influence of season of birth, sex and paternal line on growth performance and carcass traits in pigs, *SA J. An. Sci.*, 49(2), 371, doi:10.4314/sajas.v49i2.16, 2019.
- Lewis, A. J. and Lee Southern, L.: *Swine Nutrition*, CRC Press., Florida, 2000.
- Lloveras, M. R., Goenaga, P. R., Irueta, M., Carduza, F., Grigioni, G., García, P. T. and Améndola, A.: Meat quality traits of commercial hybrid pigs in Argentina, *Meat Science*, 79(3), 458–462, doi:10.1016/j.meatsci.2007.10.033, 2008.
- Lowell, J. E., Schunke, E. D., Harsh, B. N., Bryan, E. E., Stahl, C. A., Dilger, A. C. and Boler, D. D.: Growth performance, carcass characteristics, fresh belly quality, and commercial bacon slicing yields of growing-finishing pigs from sire lines intended for different industry applications, *Meat Science*, 154, 96–108, doi:10.1016/j.meatsci.2019.04.010, 2019.
- Luo, J., Shen, L., Tan, Z., Cheng, X., Yang, D., Fan, Y., Yang, Q., Ma, J., Tang, Q., Jiang, A., Jiang, D., Tang, G., Jiang, Y., Li, X., Yang, R., Zhang, S. and Zhu, L.: Comparison reproductive, growth performance, carcass and meat quality of Liangshan pig crossbred with Duroc and Berkshire genotypes and heterosis prediction, *Livestock Science*, 212, 61–68, doi:10.1016/j.livsci.2017.09.010, 2018.
- Martins, A. P., Lopes, P. A., Madeira, M. S., Martins, S. V., Santos, N. C., Moura, T. F., Prates, J. A. M. and Soveral, G.: Differences in lipid deposition and adipose membrane biophysical properties from lean and obese pigs under dietary protein restriction, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 423(1), 170–175, doi:10.1016/j.bbrc.2012.05.108, 2012.

- Miar, Y., Plastow, G., Bruce, H., Moore, S., Manafiazar, G., Kemp, R., Charagu, P., Huisman, A., Haandel, B. van, Zhang, C., McKay, R. and Wang, Z.: Genetic and Phenotypic Correlations between Performance Traits with Meat Quality and Carcass Characteristics in Commercial Crossbred Pigs, *PLOS ONE*, 9(10), e110105, doi:10.1371/journal.pone.0110105, 2014.
- Miller, K. D., Ellis, M., McKeith, F. K. and Wilson, E. R.: Influence of sire line and halothane genotype on growth performance, carcass characteristics, and meat quality in pigs, *Can. J. Anim. Sci.*, 80(2), 319–327, doi:10.4141/A99-074, 2000.
- Morales, J. I., Cámara, L., Berrocoso, J. D., López, J. P., Mateos, G. G. and Serrano, M. P.: Influence of sex and castration on growth performance and carcass quality of crossbred pigs from 2 Large White sire lines¹, *Journal of Animal Science*, 89(11), 3481–3489, doi:10.2527/jas.2010-3357, 2011.
- Nissen, P. M., Jorgensen, P. F. and Oksbjerg, N.: Within-litter variation in muscle fiber characteristics, pig performance, and meat quality traits, *J Anim Sci*, 82(2), 414–421, doi:10.1093/ansci/82.2.414, 2004.
- Noblet, J., Karege, C., Dubois, S. and van Milgen, J.: Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype., *Journal of Animal Science*, 77(5), 1208, doi:10.2527/1999.7751208x, 1999.
- Otto, G., Roehe, R., Looft, H., Thoelking, L., Henning, M., Plastow, G. S. and Kalm, E.: Drip loss of case-ready meat and of premium cuts and their associations with earlier measured sample drip loss, meat quality and carcass traits in pigs, *Meat Science*, 72(4), 680–687, doi:10.1016/j.meatsci.2005.10.001, 2006.
- Patience, J. F., Rossoni-Serão, M. C. and Gutiérrez, N. A.: A review of feed efficiency in swine: biology and application, *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6(1), 33, doi:10.1186/s40104-015-0031-2, 2015.
- Peinado, J., Medel, P., Fuentetaja, A. and Mateos, G. G.: Influence of sex and castration of females on growth performance and carcass and meat quality of heavy pigs destined for the dry-cured industry, *Journal of Animal Science*, 86(6), 1410–1417, doi:10.2527/jas.2006-807, 2008.
- Quiniou, N., Noblet, J. and Dourmad, J.-Y.: Effect of energy intake on the performance of different types of pig from 45 to 100 kg body weight. 2. Tissue gain, *Anim. Sci.*, 63(2), 289–296, doi:10.1017/S1357729800014843, 1996.
- Rehfeldt, C. and Kuhn, G.: Consequences of birth weight for postnatal growth performance and carcass quality in pigs as related to myogenesis, *Journal of Animal Science*, 84(suppl_13), E113–E123, doi:10.2527/2006.8413_supplE113x, 2006.
- Rehfeldt, C., Tuchscherer, A., Hartung, M. and Kuhn, G.: A second look at the influence of birth weight on carcass and meat quality in pigs, *Meat Science*, 78(3), 170–175, doi:10.1016/j.meatsci.2007.05.029, 2008.
- Renaudeau, D., Giorgi, M., Silou, F. and Weisbecker, J. L.: Effect of Breed (Lean or Fat Pigs) and Sex on Performance and Feeding Behaviour of Group Housed Growing Pigs in a Tropical Climate, *Asian Australas. J. Anim. Sci*, 19(4), 593–600, doi:10.5713/ajas.2006.593, 2006.
- Saintilan, R., Brossard, L., Vautier, B., Sellier, P., Bidanel, J., van Milgen, J. and Gilbert, H.: Phenotypic and genetic relationships between growth and feed intake curves and feed efficiency and amino acid requirements in the growing pig, *Animal*, 9(1), 18–27, doi:10.1017/S1751731114002171, 2015.

- Schinckel, A. P., Mahan, D. C., Wiseman, T. G. and Einstein, M. E.: Impact of Alternative Energy Systems on the Estimated Feed Requirements of Pigs with Varying Lean and Fat Tissue Growth Rates When Fed Corn and Soybean Meal-Based Diets, *Prof Ani Sci*, 24(3), 198–207, doi:10.1532/S1080-7446(15)30841-X, 2008.
- Serrano, M. P., Valencia, D. G., Nieto, M., Lázaro, R. and Mateos, G. G.: Influence of sex and terminal sire line on performance and carcass and meat quality of Iberian pigs reared under intensive production systems, *Meat Science*, 78(4), 420–428, doi:10.1016/j.meatsci.2007.07.006, 2008.
- Škorput, D. and Luković, Z.: Partition of genetic trend for daily gain by sex in Landrace, Large White, Piétrain, and Duroc pigs, *Journal of Central European agriculture*, 19(3), 648–657, doi:10.5513/JCEA01/19.3.2130, 2018.
- TierSchIV: Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung und zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 1099/2009 des Rates. https://www.gesetze-im-internet.de/tierschlv_2013/BJNR298200012.html, (Accessed 3 September 2019), 2012.
- Tullis, J. B.: Protein growth in pigs, Ph.D. thesis, University of Edinburgh, United Kingdom, 299 pp., 1982.
- van Wijk, H. J., Arts, D. J. G., Matthews, J. O., Webster, M., Ducro, B. J. and Knol, E. F.: Genetic parameters for carcass composition and pork quality estimated in a commercial production chain, *J Anim Sci*, 83(2), 324–333, doi:10.2527/2005.832324x, 2005.
- Vázquez-Gómez, M., García-Contreras, C., Astiz, S., Torres-Rovira, L., Fernández-Moya, E., Olivares, Á., Daza, A., Óvilo, C., González-Bulnes, A. and Isabel, B.: Piglet birthweight and sex affect growth performance and fatty acid composition in fatty pigs, *Anim. Prod. Sci.*, 60(4), 573–583, doi:10.1071/AN18254, 2020.
- Vermeulen, L., Van Beirendonck, S., Bulens, A., Van Thielen, J. and Driessen, B.: Sire line of pigs affects weaning weight, growth performance, and carcass characteristics of offspring, *J. Anim. Sci.*, 94(10), 4360–4368, 2016.
- Whittemore, C. T. and Fawcett, R. H.: Theoretical aspects of a flexible model to stimulate protein and lipid growth in pigs, *Animal Science*, 22(1), 87–96, doi:10.1017/S0003356100035455, 1976.
- Whittemore, C. T., Green, D. M. and Knap, P. W.: Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein, *Anim. Sci.*, 73(3), 363–373, doi:10.1017/S1357729800058331, 2001.
- Zumbach, B., Misztal, I., Tsuruta, S., Holl, J., Herring, W. and Long, T.: Genetic correlations between two strains of Durocs and crossbreds from differing production environments for slaughter traits, *Journal of Animal Science*, 85(4), 901–908, doi:10.2527/jas.2006-499, 2007.

4.4 Diskussion

Die Auswahl der einzusetzenden Endstufeneberlinie ist sowohl von den Ansprüchen des Ferkelerzeugers als auch von denen des Mästers abhängig. Durch die Vielfalt der zur Verfügung stehenden Endstufeneberlinien und deren individuellen Fokus durch die Selektion auf bestimmte Merkmale, nimmt die Komplexität der Entscheidungsfindung zu. Weiterhin können Faktoren wie der wirtschaftliche Druck und die zunehmende Diskussion um Tierwohl und Tierschutz die Wahl der Endstufeneberlinie beeinflussen. Während bei reinen Ferkelerzeugern in erster Linie die Merkmale Wurfgröße, das Geburts- und Absetzgewicht sowie die Zahl abgesetzter Ferkel von Interesse sind (Mote und Rothschild, 2020; Ward et al., 2020), stehen für den Mäster die Zunahmen, die Futtermittelverwertung, die Mortalität und der Schlachtkörperwert im Vordergrund (De Cuyper et al., 2019; Kanis et al., 2005; Mote und Rothschild, 2020). Für einen Kombibetrieb (geschlossenes System aus Ferkelerzeugung, -aufzucht und Mast) sind alle genannten Merkmale von Relevanz.

Im Gegensatz zu anderen Studien wurde in der vorliegenden Vergleichsanalyse (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.2 und 4.3 (Elbert et al., 2020, 2021)) sowohl die Produktionsstufe der Ferkelerzeuger als auch die der Mäster in Betracht gezogen. Standardisierte Umweltbedingungen waren bereits zum Zeitpunkt der Spermagewinnung gegeben, da dieselbe Besamungsstation als Lieferant des Spermas für beide Endstufeneberlinien gewählt wurde. Der Stationseffekt, von dem häufig im Zusammenhang mit der Reproduktionsleistung des Ebers berichtet wird (Corcuera et al., 2002; Flowers, 1997; Schulze et al., 2014), ist somit in der vorliegenden Untersuchung zu vernachlässigen. Während in der Studie von Pedersen et al. (2019) eine Single-Sire Belegung zum Vergleich einer Piétrain- und einer Duroc-Linie verwendet wurde, basiert die vorliegende Untersuchung auf der Verwendung von gepooltem Sperma (stets fünf Eber pro Portion). Der Fokus der eigenen Vergleichsanalyse lag auf dem Effekt der Linie und nicht auf dem des Einzelebers. Dabei bringt der Einsatz von gepooltem Sperma den Vorteil, dass der Effekt des einzelnen Ebers vernachlässigt werden kann. Zudem werden Schwankungen in der Spermaqualität im gepoolten Sperma ausgeglichen (Flowers, 2008; Pedersen, 2013). Die Annahme, dass DNA-Fragmentationen oder reziproke Translokationen mögliche Ursachen für den Wurfgrößenunterschied darstellen, wird daher dementiert. Insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, dass primär Einzeltiere einer Population betroffen sind, ist diese Erklärung als mögliche Ursache für die geringere Wurfgröße in der Endstufeneberlinie A unbedeutend. Neben der bereits diskutierten Möglichkeit des Vorhandenseins von rezessiv letalen Allelen, ist zu beachten, dass der Einfluss der Endstufeneberlinie auf die Wurfgröße gering ist (Broekhuijse et

al., 2012a, 2012b; Lopes et al., 2017; Wolf und Wolfová, 2012), aber dennoch nachgewiesen werden konnte.

Die Nachkommen der Endstufeneberlinie B wurden durchschnittlich 30,0 g schwerer geboren ($p < 0,01$). Wie in zahlreichen Studien (Declerck et al., 2017; Le Dividich et al., 2017; Quiniou et al., 2002) belegt, bestätigt die Regressionsanalyse der vorliegenden Untersuchung (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.2 (Elbert et al., 2021), dass je 100 g zusätzlichem Geburtsgewicht die täglichen Zunahmen um 3,5 g höher liegen und das damit verbundene Absetzgewicht um 170,0 g pro 100 g zusätzlichem Geburtsgewicht steigt ($p < 0,001$). Entgegen der Erwartungen erreichten die Nachkommen der Endstufeneberlinie B weder in der Laktationsphase (215,0 vs. 209,8 g / d; $p = 0,1423$) noch in der Mastphase höhere Zunahmen im Vergleich zur Endstufeneberlinie A. Vielmehr lagen diese in der Mastphase rund 49 g / d ($p < 0,01$) niedriger. Es ist davon auszugehen, dass die im Kapitel 4, unter dem Abschnitt 4.2 (Elbert et al., 2021) angesprochene erhöhte Konkurrenz zwischen den Wurfgeschwistern der Endstufeneberlinie B um Kolostrum bzw. Milch und die damit verbundene Restriktion des einzelnen Ferkels während der Laktationsphase sich auch auf das weitere Wachstum dieser Tiere in der Mastphase ausgewirkt haben. Zumal die Ergebnisse von Decaluwé et al. (2014) und Hasan et al. (2019) darauf hindeuten, dass eine sinkende Aufnahme an Kolostrum je kg Geburtsgewicht zu einer Verschiebung der Nährstoffverwendung führt. Kolostrale Proteine werden verstärkt für katabole Prozesse (Energiegewinnung) verwendet anstatt zur Proteinakkumulation in Form von Zunahmen bzw. Muskelfleischaufbau (Decaluwé et al., 2014). Bis zu einem Alter von sechs Wochen ist der Zusammenhang zwischen Kolostrumaufnahme und täglicher Zunahme bei Schweinen bestätigt ($p < 0,001$) (Devillers et al., 2011).

Bezüglich der Auswirkungen der Kolostrumaufnahme auf die Mastleistung liegen derzeit keine Untersuchungen vor. Dennoch ist naheliegend, dass die Tiere der Endstufeneberlinie B die mögliche Restriktion während der Laktationsphase in der Mastphase nicht kompensieren konnten. Die höheren Zunahmen der Nachkommen der Endstufeneberlinie A hingegen weisen auf eine bessere Versorgung der Ferkel mit Kolostrum hin. Trotz des nicht unerheblichen Einflusses des Geburtsgewichtes auf das weitere Wachstum des Ferkels, deuten die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung darauf hin, dass die Wurfgröße, genauso wie das in den Studien von de Grau et al. (2005), Huting et al. (2019) und Quiniou et al. (2002) bestätigte Absetzgewicht, in Bezug auf die spätere Wachstumsleistung nicht zu vernachlässigen sind. Zu einer ähnlichen Erkenntnis kommen Douglas et al. (2013), die neben dem Absetzgewicht auch das Einstallgewicht in die Mast vor dem Hintergrund des weiteren Wachstums als wichtig erachten. Ebenso ist das in der im Kapitel 4, unter dem Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020) angesprochene und diskutierte

genetische Potential der jeweiligen Endstufeneberlinie nicht außer Acht zu lassen. Es ist davon auszugehen, dass abhängig von der Endstufeneberlinie durch das Zuchtunternehmen verschiedene Selektionsstrategien angewandt werden, die unterschiedliche Merkmalskomplexe mehr oder weniger stark berücksichtigen. Grundsätzlich bestimmen die durch das Zuchtunternehmen angewandte Zuchtzielgewichtung und die Selektionsstrategie das genetische Potential und damit den Schwerpunkt der Merkmalsausprägung bzw. die mögliche Leistung der Tiere in der Praxis. Hinzu kommen die Umwelteffekte, die auf die Nachkommen eingewirkt haben. So sind Einflussvariablen wie die Wurfgröße, der Wurfausgleich und die Sortierung, die Neugruppierung beim Umstallen und das Fütterungsmanagement, das gegebenenfalls nicht den Ansprüchen beider Genotypen gleichermaßen gerecht werden konnte, zu berücksichtigen.

Im Einklang mit der Vermutung einer geringeren Kolostrumaufnahme steht das Ergebnis der reduzierten Körpertemperatur der Nachkommen der Endstufeneberlinie B im Vergleich zu den Nachkommen der Endstufeneberlinie A (38,3 vs. 38,6 °C; $p < 0,001$). Die Körpertemperatur der Ferkel wurde innerhalb von 12 bis 24 h p.p. gemessen. Auf Grund der weniger von der uterinen Umwelt beeinflussten Körpertemperatur ist anzunehmen, dass diese Zeitspanne deutlich aussagekräftiger hinsichtlich der Adaptationsfähigkeit des Ferkels ist, verglichen mit einer direkt nach der Geburt erfassten Körpertemperatur. Dennoch birgt die Zeitspanne von 12 h (12 bis 24 h p.p.) innerhalb der die Körpertemperatur der Ferkel erfasst wurde, das Risiko, dass bedingt durch unterschiedliche Geburtszeitpunkte zusammen mit den festen täglichen Arbeitszeiten, bei einer der beiden Versuchsvarianten vornehmlich zu Beginn bzw. zum Ende der Messphase die Körpertemperaturen erfasst wurden. Besteht dieser Unterschied im Erfassungszeitpunkt, könnte dadurch die höhere Körpertemperatur der Nachkommen der Endstufeneberlinie A bedingt sein. Wurden diese Tiere eher zum Ende der 24 h p.p. gemessen, ist naheliegend, dass durch die längere Zeitspanne nach der Geburt mehr Kolostrum aufgenommen wurde. Zumal bekannt ist, dass der rasche Körpertemperaturabfall kurz nach der Geburt der Ferkel durch die Kolostrumaufnahme abgepuffert wird. In Folge dessen steigt die Körpertemperatur der Ferkel innerhalb von 24 h p.p. physiologisch an (Baxter et al., 2008; Moreira et al., 2020; Panzardi et al., 2013), wodurch ein entsprechenden Einfluss auf die Messergebnisse vorliegen könnte.

Bezüglich der Mortalität wurden entlang der gesamten Produktionskette keine signifikanten Unterschiede zwischen den Nachkommen der beiden Endstufeneberlinien nachgewiesen. Dennoch ist die Differenz von 1 % im Abferkelbereich nicht zu vernachlässigen und vermutlich auf die höhere Wurfgröße der Endstufeneberlinie B zurückzuführen (6,6 vs. 7,6 %; $p = 0,8663$). Das höhere Geburtsgewicht dieser Nachkommen könnte dabei die relativ geringe Differenz zwischen

den Mortalitäten trotz einer Differenz von 1,7 gesamt geborenen Ferkeln je Wurf zwischen den Versuchsvarianten erklären. Diese Annahme liegt auch deshalb nahe, da Pedersen et al. (2019) bereits bei einer Differenz von 0,5 gesamt geborenen Ferkeln je Wurf einen Unterschied von rund 3 % hinsichtlich der Saugferkelverluste feststellten ($p < 0,001$). Vitalere und robustere Nachkommen der Endstufeneberlinie B sind eine mögliche Erklärung für die geringe Differenz in den Saugferkelverlusten.

Die in Verbindung mit der reduzierten Körpertemperatur stehende Vermutung, dass die Ferkel der Endstufeneberlinie B mit einem geringeren Anteil an Fettzellen geboren wurden, wird durch den höheren Magerfleischanteil ($p < 0,001$), die größere Fleischdicke ($p < 0,001$) und den leichteren Bauch ($p < 0,01$) im Vergleich zu den Nachkommen der anderen Endstufeneberlinie unterstützt. Zumal in der vorliegenden Vergleichsanalyse (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020)) und in anderen Untersuchungen (Alvarenga et al., 2012; Nissen et al., 2004; Rehfeldt und Kuhn, 2006; Zotti et al., 2017) bestätigt ist, dass Ferkel, die schwerer geboren wurden, signifikant magerere Schlachtkörper aufweisen. Erwartungsgemäß wurden schwerere Teilstücke bei den Nachkommen der Endstufeneberlinie B ermittelt (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020)), die durch das höhere Geburtsgewicht dieser Tiere bedingt sein können. Diese Annahme deckt sich mit den Ergebnissen von Miar et al. (2014), die zwischen dem Geburtsgewicht und den wertvollen Teilstücken wie Schinken, Lachs, Kotelett und Schulter positive Korrelationen schätzen ($p < 0,05$). Ebenso ist auch hier, die im Kapitel 4 unter dem Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020) angesprochene Bedeutung der Selektionsstrategie nicht zu vernachlässigen. Die Rasse Piétrain zeichnet sich besonders durch den Schlachtkörperwert aus. Zudem sprechen die Ergebnisse von Aymerich et al. (2019) für Vorteile im Schlachtkörperwert von Piétrain-Nachkommen im Vergleich zu denen einer synthetischen Linie und decken sich daher mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung.

Hinsichtlich des Schlachtkörpergewichtes ist auffällig, dass dieses in der vorliegenden Untersuchung (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020)) unabhängig von der Endstufeneberlinie mit 91,1 bzw. 89,8 kg SG im Vergleich zu den am Markt üblichen Schlachtkörpergewichten als gering einzustufen ist. In der Regel liegt das durchschnittliche Schlachtkörpergewicht in Deutschland derzeit bei knapp 96 kg (BMEL 2020). Schweineschlachtkörper werden unter Zugrundelegung von Fleischanteil oder Teilstückzusammensetzung sowie dem Schlachtkörpergewicht bezahlt. In der Gewichtung der Teilstücke bzw. Definition des optimalen Fleischanteils und optimalen Schlachtkörpergewichtes unterscheiden sich die so genannten Abrechnungsmasken der einzelnen Schlachtunternehmen. Generell liegt der anzustrebende Gewichtsbereich bei Abrechnung nach Fleischanteil (FOM) zwischen 86 und 106 kg und bei Abrechnung nach Teilstückzusammensetzung bzw. -gewichten

(Auto-FOM) zwischen 83 und 107 kg (Niemann 2020; IQA 2020). Somit lag das Schlachtkörpergewicht der Versuchstiere im unteren Drittel des anzustrebenden Bereichs. Grund hierfür ist das Produktionssystem des Betriebs. Für einen Mastdurchgang (Einstellung bis Ausstallung der letzten Tiere) ist ein fixer Zeitraum vorgesehen und bestimmt somit den Zeitpunkt, zu dem der Maststall geräumt bzw. bereit für die nächste Einstallgruppe ist. Alle Tiere werden innerhalb von vier Wochen verkauft, was zu unterschiedlichem Schlachtagter der Versuchstiere führte. Zudem wird die Varianz im Schlachtagter durch die Varianz im Geburtszeitpunkt der Einstallgruppe erhöht. Um eine Vergleichbarkeit des Schlachtkörpergewichtes zu schaffen und den Effekt der Sortierung vor der Ausstallung durch das Stallpersonal zu reduzieren, wurde das Merkmal "Alter bei der Schlachtung" auf 173 Lebenstage korrigiert. Die Merkmale "Einstallalter" sowie "Schlachtkörpergewicht" wurden ebenfalls korrigiert und als lineare Co-Variable für den gesamten Datensatz angewendet. Der Effekt des betrieblichen Managements (i.e.S. Tage der Geburt bzw. Sortierung) wurde dadurch reduziert und eine bessere Vergleichbarkeit der Versuchsvarianten ermöglicht. Ähnliche Vorgehensweisen gehen aus den Untersuchungen von Fix et al. (2010b) und Sonesson et al. (1998) hervor, die ebenfalls auf das Alter oder das Schlachtkörpergewicht, abhängig vom untersuchten Merkmal, korrigierten.

Aus den Ergebnissen der verschiedenen Produktionsabschnitte (Ferkelerzeugung sowie Mast inkl. Schlachtung) ist zu entnehmen, dass beide Endstufeneberlinien verschiedene Vorteile bieten. In der Ferkelerzeugung können mit Hilfe des Einsatzes der Endstufeneberlinie B größere Würfe mit vitalen und robusten Ferkeln vereint werden. Dadurch können die fixen Kosten pro Ferkel reduziert, das Tierwohl erhöht sowie frohwüchsige Ferkel erzeugt und in adäquater Zahl abgesetzt werden. Das Management muss den größeren Würfen gerecht werden (Baxter et al., 2013; Kobek-Kjeldager et al., 2020). Des Weiteren dürfen die Stallplatzkapazitäten in der Ferkelaufzucht und Mast beim Einsatz der Endstufeneberlinie B nicht zum limitierenden Faktor werden. Wenn diese Bedingungen erfüllt sind, kann das genetische Potential aus den vitaleren und robusteren Ferkeln effektiv genutzt werden. Ein Mastbetrieb kann mit Nachkommen der Endstufeneberlinie A bedingt durch die höheren Zunahmen mehr Umtriebe je Mastplatz erzielen. Ausgehend von 96 kg Schlachtkörpergewicht und den vorliegenden Zunahmen aus der Vergleichsanalyse erreichen die Nachkommen der Endstufeneberlinie A die Schlachtreife durchschnittlich sechs Tage früher. Das führt zu einer Verbesserung von etwa 0,14 Umtrieben pro Jahr, immer vorausgesetzt, dass genügend Mastferkel der Endstufeneberlinie A am Markt angeboten werden, um die vorhandenen Stallplätze auszulasten. Durch eine Anpassung des Fütterungsmanagements und des Endgewichtes zum Zeitpunkt des Verkaufs könnte eine bessere Ausnutzung des genetischen Potentials dieser Nachkommen erreicht werden (steigender Magerfleischanteil und schwerere

Teilstücke, angepasst an die Abrechnungsmaske). Das im Kapitel 4 unter dem Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020) diskutierte engere Energie-Proteinverhältnis in der Futtermittelration, ausgehend von einem bekannten höheren Proteinbedarf bei wachstumsbetonten Linien (Emmans und Kyriazakis, 1997; Quiniou et al., 1996; Whittemore et al., 2001) sollte als weitere Optimierungsmaßnahme in Betracht gezogen werden. Für einen Kombibetrieb (geschlossenes System aus Ferkelerzeugung, -aufzucht und Mast), ist die Endstufeneberlinie B auf Grund der größeren Würfe (geborene Ferkel und abgesetzte Ferkel pro Wurf), zusammen mit den adäquaten Geburtsgewichten sowie der geringen Verluste zu empfehlen. Insbesondere, da die Kreuzungsnachkommen auch im Schlachtkörperwert durch den hohen Magerfleischanteil und die gut ausgebildeten wertvollen Teilstücke ökonomische Vorteile erzielen. Neben dem Schlachtkörpergewicht zählen diese Merkmale (Magerfleisch bzw. Teilstücke mit Schinken, Lachs, Schulter und Bauch) zu den wirtschaftlich relevanten Merkmalen bei der Schlachtabrechnung (Janiszewski et al., 2019).

Die in diesem Kapitel vorgestellte Vergleichsanalyse bestätigt, dass die Wahl der Endstufeneberlinie eine Möglichkeit darstellt, die Herausforderungen der steigenden Wurfgröße mit den verbundenen Anforderungen des Tierwohls und dem Tierschutz zu kombinieren. Während sich die Untersuchung von Broekhuijse et al. (2012a, 2012b) und Pedersen et al. (2019) auf die Ferkelerzeugung konzentriert und die Studien von Cámara et al. (2016), De Cuyper et al. (2019) und Gilleland et al. (2019) den Vergleich verschiedener Endstufeneberlinien in der Mastphase beleuchten, hat die vorliegende Analyse gezeigt, wie wichtig der Vergleich der Endstufeneberlinien entlang der gesamten Produktionskette ist. Insbesondere, da das betriebsindividuelle Produktionssystem bei der Entscheidung der einzusetzenden Endstufeneberlinie zu berücksichtigen ist. Endstufeneberlinie B eignet sich sowohl für den Einsatz in einem reinen Ferkelerzeugerbetrieb als auch für ein geschlossenes System. Für einen reinen Mastbetrieb sind Nachkommen der Endstufeneberlinie A zu empfehlen.

5 Allgemeine Diskussion

Bis heute gibt es nur sehr wenige detaillierte Studien über den Vergleich von Endstufeneberlinien. Bei den bisher veröffentlichten Untersuchungen wird häufig nur ein Teil der Produktionskette berücksichtigt. So stehen die Ferkelerzeugung (Pedersen et al., 2019) oder die Mast mit bzw. ohne Schlachtdaten (De Cuyper et al., 2019; Lowell et al., 2019) oder ausschließlich der Schlachtkörperwert (Cilla et al., 2006; Gilleland et al., 2019) im Fokus der Studien. Hinzu kommen oftmals nicht berücksichtigte unterschiedliche Gewichtsbereiche und die nicht eindeutige Beschreibung der Umwelten, in der die Tiere geboren wurden oder aufgewachsen sind.

Auf Grund der zahlreichen Umweltfaktoren, die bereits vor und nach der Geburt auf die Nachkommen einwirken, kann nur durch deren Standardisierung eine Vergleichbarkeit zwischen Genotypen geschaffen werden. Diese Vergleichbarkeit wurde in der vorliegenden Vergleichsanalyse (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.2 und 4.3 (Elbert et al., 2021, 2020)) erzielt, wodurch die Aussagekraft der Leistungsunterschiede erhöht und die Leistung der jeweiligen Endstufeneberlinie zugeordnet werden konnte. Es ist durchaus in Erwägung zu ziehen, die im Kapitel 4, unter dem Abschnitten 4.2 (Elbert et al., 2021) angesprochene höhere Adaptationsfähigkeit der Nachkommen der Eberlinie B im Vergleich zur Eberlinie A unter anderen Umweltbedingungen (anderer Versuchsbetrieb, gleicher Versuchsaufbau) zu überprüfen. Insbesondere da bekannt ist, dass, abhängig von der Genetik, die Tiere mehr oder weniger in der Lage sind, mit den verschiedensten Umweltstressoren umzugehen (Knap, 2005). Das Fütterungsmanagement darf hierbei nicht vernachlässigt werden. Dieses könnte auf Grund eines möglichen Unterschieds im Protein-Bedarf der Kreuzungsnachkommen (A und B) bei gleichem Versuchsaufbau zu anderen Ergebnissen führen.

Hinsichtlich der Merkmale, die zur Ermittlung der Vitalität erfasst wurden, erwies sich das Geburtsgewicht der Ferkel, wie in anderen Studien bestätigt (Calderón Díaz et al., 2017; Declerck et al., 2016; Feldpausch et al., 2019), als repräsentatives Hilfsmerkmal. Bei Erfassung der Körpertemperatur empfiehlt sich ein exakt definierter Erfassungszeitpunkt, um die angesprochene Beeinflussung der Körpertemperatur durch die Kolostrumaufnahme zu reduzieren. Eine Umsetzung unter praktischen Bedingungen bei gleichzeitig hoher Beobachtungszahl wird vermutlich nur durch die Verkürzung des Messzeitraumes von beispielsweise 12 auf zwei bis vier Stunden möglich sein. In der Konsequenz sollte die Körpertemperaturmessung innerhalb von 20 bis 24 h p.p. durchgeführt werden. Positiv zu bewerten ist die schonende Methode der Messung im Ohr des Ferkels durch ein Ohr-Thermometer. Rooney et al. (2020) und Schmid et al. (2019) wendeten ebenfalls ein solches Ohr-

Thermometer an, um die Körpertemperatur von Ferkeln zu bestimmen. Grundlage der Messung ist die Messtechnik durch Infrarot, bei der die Temperatur der Oberfläche (z.B. des Trommelfells) gemessen wird (Braun 2020; Petry et al., 2017). Schmid et al. (2019) schätzen eine Korrelation von $r = 0,93$ ($p < 0,001$) zwischen der rektalen Messung und der im Ohr. Diese Ergebnisse decken sich mit denen des eigenen Vorversuchs zur Überprüfung der Korrelation der genannten Methoden und bestätigen damit die Vergleichbarkeit mit der rektalen Messung.

Der Einfluss der Wurfgröße auf die Vitalität des einzelnen Ferkels ist umfangreich untersucht (Andersen et al., 2011; Beaulieu et al., 2010; Kielland et al., 2015; Ocepek et al., 2017; Pandolfi et al., 2017) und in der Übersichtsarbeit von Elbert et al. (2018) (vgl. Kapitel 3, Abschnitt 3.2) zusammenfassend dargestellt. Auf Grund der ungünstigen Ausnutzung der Produktionskosten und der wirtschaftlichen Lage der Schweineproduzenten wird die aus Sicht des Tierschutzes präferierte Möglichkeit, die aktuellen Wurfgrößen züchterisch zu senken, als Lösungsansatz zur Entzerrung der stetigen Diskussion um das Wohlergehen der Tiere, nicht umsetzbar sein. Dagegen ist die Verbesserung der gegebenen Faktoren ein Ansatzpunkt. Neben der im Kapitel 3 unter dem Abschnitt 3.2 angesprochenen Punkte, wie die Zahl an funktionsfähigen Zitzen sowie das Nutzen von zusätzlichen Managementmaßnahmen, ist die individuelle Ferkelvitalität ein entscheidender Faktor, um die Herausforderung der steigenden Wurfgröße zu meistern. Die züchterische Bearbeitung des Geburtsgewichtes und dessen Varianz innerhalb eines Wurfs (Costermans et al., 2017; Sell-Kubiak et al., 2015; Wittenburg et al., 2008) führt dabei zur Verbesserung der allgemeinen Überlebensfähigkeit des Ferkels. Dennoch sind die tierschutzrelevanten Kritikpunkte nicht gänzlich gelöst. Daher ist eine weitere Erhöhung der Wurfgröße nur vertretbar, wenn die züchterische Verbesserung dazu führt, dass die zusätzlichen Ferkel lebend geboren werden und eine gleichzeitige Senkung der Ferkelverluste erreicht wird. Dabei sollte der Fokus auf der Steigerung der individuellen Ferkelvitalität liegen. Das Aufziehen der zusätzlichen Ferkel kann nicht durch weitere, zusätzliche Managementmaßnahmen des Betriebes gewährleistet werden. Ziel muss es sein, jedes mehr geborene Ferkel unter besonderer Berücksichtigung des Tierwohls und -schutzes, auch wirtschaftlich aufzuziehen.

Obwohl der Genotyp nur einer von vielen Faktoren ist, der die individuelle Ferkelvitalität beeinflusst, sollte er dennoch nicht vernachlässigt werden. Neben der Sau (Santiago et al., 2019; van den Bosch et al., 2019) beeinflusst der Endstufeneber ebenso das genetische Potential des Ferkels und somit dessen Adaptationsfähigkeit. Die signifikanten Unterschiede im Geburtsgewicht der Nachkommen (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.2 (Elbert et al., 2021)) bestätigen den Einfluss der Endstufeneberlinie. Dennoch weisen die nicht signifikanten Interaktionen zwischen den Geburtsgewichtsklassen und der Endstufeneberlinie (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.3 (Elbert et al.,

2020)) darauf hin, dass unabhängig vom Genotyp Wachstumsdepressionen auftreten, die mit leichteren Schlachtkörpergewichten und entsprechenden Auswirkungen auf den gesamten Schlachtkörper einhergehen. Diese Ergebnisse bestätigen die Erkenntnisse, die bereits in vergangenen Untersuchungen von Fix et al. (2010b) und Vázquez-Gómez et al. (2020) ermittelt wurden.

In der im Kapitel 4, unter den Abschnitt 4.2 vorgestellten Studie (Elbert et al., 2021) bestätigte sich, dass durch den Einsatz der Endstufeneberlinie B signifikant größere Würfe mit signifikant höheren Geburtsgewichten und vitaleren Ferkeln, die zu frohwüchsigen, robusten Mastschweinen heranwachsen, kombinierbar sind. Die antagonistische Beziehung zwischen dem Geburtsgewicht und der Wurfgröße scheint neben der maternalen Seite (Ovulations- und Implantationsrate, Uterusgröße, Plazentaeffizienz) auch auf der paternalen Seite (Sperma-, Embryovitalität, Reziproke Translokation, DNA-Fragmentationen) eine Minderung des Antagonismus zu ermöglichen. Wobei dieses durch eine verstärkte Selektion auf Merkmale, die positiv mit dem Geburtsgewicht korreliert sind, erreicht wird. Innerhalb der letzten Jahre werden auch in den Endstufeneberlinien gezielt Merkmale der Robustheit und Vitalität sowie der Fruchtbarkeit im Zuchtziel berücksichtigt, um der Herausforderung großer Würfe zu begegnen. Des Weiteren zeigen die Nachkommen der Endstufeneberlinie B Vorteile im Schlachtkörperwert (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020)). Die Endstufeneberlinie B eignet sich sowohl für den Einsatz in der Ferkelerzeugung als auch im geschlossenen System. Weiter konnte bestätigt werden, dass die Nachkommen der Endstufeneberlinie A durch die signifikant höhere Wachstumsrate (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020)) und die dadurch effizientere Ausnutzung der Mastplätze Vorteile für Mastbetriebe bieten. Zudem deutet der signifikant höhere pH_{24h} dieser Nachkommen auf eine verbesserte Fleischqualität hin (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020)). Auf Grund der nicht signifikanten Interaktionen (Endstufeneberlinie x Geburtsgewichtsklasse) ist anzunehmen, dass unabhängig vom Genotyp der Tiere das Geburtsgewicht nach wie vor eines der wichtigsten Merkmale zur Bearbeitung der Ferkelvitalität ist. Diese Erkenntnis deckt sich mit der verschiedenen anderer Untersuchungen (Calderón Díaz et al., 2017; Declerck et al., 2016; Feldpausch et al., 2019). Trotz der aufwändigen Datenerfassung der Vitalitätsmerkmale scheint eine weitere Überarbeitung und Implementierung dieses Merkmalskomplex in Zuchtprogramme von Endstufeneberlinien vielversprechend und zukunftsweisend.

Die vorliegende Studie bestätigt, dass große Würfe durch die Verbesserung der vorhandenen Faktoren, auch im Zusammenhang mit den Anforderungen an das Tierwohl vertretbar sind. Dennoch ist die weitere Erhöhung der Wurfgröße nur dann anzustreben, wenn jedes zusätzlich geborene Ferkel lebend geboren und unter besonderer Berücksichtigung des Tierwohls

und -schutzes, auch wirtschaftlich aufgezogen wird. Eine weitere Verbesserung der individuellen Ferkelvitalität durch eine entsprechende Selektion muss daher erfolgen. Die Auswahl der Endstufeneberlinie in der Ferkel- und Mastschweineerzeugung ist eine Möglichkeit, die Vitalität der Nachkommen zu verbessern und somit das steigende Leistungsniveau mit den Anforderungen des Tierwohls und des Tierschutzes zu kombinieren.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Dissertation werden zwei Endstufeneberlinien auf Grundlage der Leistung ihrer Kreuzungsnachkommen unter standardisierten Umweltbedingungen entlang der gesamten Produktionskette (Belegung bis Schlachtung) unter besonderer Berücksichtigung des Geburtsgewichtes verglichen. Die Arbeit behandelt dabei zwei verschiedene Themenkomplexe.

Der erste Teil beschreibt genetische und umweltbedingte Einflussfaktoren auf die Kreuzungsnachkommen in der kommerziellen Schweineproduktion. Dabei wird zwischen pränatalen und postnatalen Faktoren unterschieden. Es werden sowohl die Einflüsse der Sau als auch des Besamungsebers dargestellt und im Zusammenhang mit der steigenden Wurfgröße betrachtet. Weiterhin beinhaltet dieser Teil einen Review (vgl. Kapitel 3, Abschnitt 3.2 (Elbert et al., 2018)), der insbesondere die individuelle Ferkelvitalität unter besonderer Berücksichtigung der Wurfgröße thematisiert. Dabei wird deutlich, dass die Vitalität des einzelnen Ferkels ein relevanter Parameter ist, um der Herausforderung größerer Würfe zu begegnen. Der Einfluss der Genetik auf die Vitalität ist ein Aspekt unter verschiedenen Faktoren. Dennoch bildet der Genotyp die Grundlage für die Adaptationsfähigkeit des Ferkels, die sich in dessen Robustheit, auf Umweltfaktoren zu reagieren, äußert. Somit können bereits zum Zeitpunkt der Besamung Entscheidungen getroffen werden, die die Erzeugung vitaler, frohwüchsiger Schweine unterstützen. Eine weitere Erhöhung der Wurfgröße ist nur dann vertretbar, wenn unter besonderer Berücksichtigung des Tierwohls und -schutzes jedes zusätzliche Ferkel lebend geboren und wirtschaftlich aufgezogen wird. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Verbesserung der individuellen Ferkelvitalität, begleitet von einem angepassten Management, um einen Konsens mit den anzulegenden Tierwohl- und Tierschutzstandards zu ermöglichen.

Der zweite Teil dieser Arbeit befasst sich mit der Vergleichsanalyse der beiden Endstufeneberlinien, die, aufgeteilt in zwei Studien, vorgestellt und studienübergreifend unter besonderer Berücksichtigung von Wurfgröße und dem Wohlergehen der Tiere, diskutiert sind. Auch ist ein Überblick aktueller Endstufeneberlinien und deren züchterisch relevanten Merkmale gegeben. Besonders zu erwähnen ist, dass die gesamte Vergleichsanalyse unter standardisierten Umweltbedingungen in einem integrierten Produktionssystem von der Belegung der Sauen bis zur Schlachtung der Mastschweine stattfand, um die Aussagekraft zu optimieren.

Die erste Studie (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.2 (Elbert et al., 2021)) zu diesem Themenkomplex bezieht sich auf den Bereich der Ferkelerzeugung und basiert auf den Daten von 150 Würfen einer synthetischen Endstufeneberlinie (A) und 154 Würfen einer Piétrain-Endstufeneberlinie (B) aus der Anpaarung an eine einheitliche Sauengrundlage. Insgesamt konnten 4.209 lebend geborene

Ferkel (IgF) in die Studie einbezogen werden. Wurfmerkmale wie die Zahl gesamt geborener Ferkel (ggF), die Anzahl IgF und abgesetzter Ferkel (agF) pro Wurf wurden erfasst. Innerhalb von 12 bis 24 h p.p. erfolgte die individuelle Erfassung des Geburtsgewichts (GgW), des Geschlechts (W / M) und die Messung der Körpertemperatur (T). Zusätzlich wurden die Saugferkelverluste über die gesamte Säugephase hinweg dokumentiert. Das Absetzgewicht (AgW) wurde anhand von 665 zufällig ausgewählten Ferkeln zum Zeitpunkt des Absetzens bestimmt und zur Ermittlung der täglichen Zunahmen (tgZ) während der Laktationsperiode herangezogen. Die Endstufeneberlinie beeinflusste die ggF ($p < 0,0001$), die IgF ($p < 0,01$) und die agF ($p < 0,01$). Grundsätzlich führt jedes zusätzliche Ferkel pro Wurf zu einer Reduzierung des Geburtsgewichtes um 31,2 g ($p < 0,001$). Größere Würfe, höhere GgW ($p < 0,01$) und geringere T ($p < 0,001$) der Ferkel zeigten sich bei der Endstufeneberlinie B im Vergleich zur Endstufeneberlinie A. Weitere Unterschiede wurden weder im AgW noch in den tgZ oder in den Saugferkelverlusten ermittelt ($p > 0,05$). Insgesamt ergab sich eine positive Korrelation zwischen dem GgW und den tgZ die zu höheren AgW führte ($p < 0,001$). Zudem wurde nachgewiesen, dass Ferkel, die mit einem höheren GgW geboren werden, im Vergleich zu leichter geborenen Ferkeln eine höhere T aufweisen ($p < 0,001$). Die Wahl der Endstufeneberlinie ist eine Möglichkeit, die Herausforderungen der steigenden Wurfgröße mit den Anforderungen an Tierwohl und Tierschutz zu kombinieren. Die Linie B kombiniert einen großen Wurf mit adäquaten Geburtsgewichten.

Die zweite Studie (vgl. Kapitel 4, Abschnitt 4.3 (Elbert et al., 2020)) umfasst die Mast der Ferkel aus dem ersten Teil der Studie sowie deren Schlachtung. Insgesamt wurden 3.844 Kreuzungsnachkommen der zuvor beschriebenen Anpaarungen, nach Genetik und Geschlecht sortiert, in die Mast eingestallt. Die Merkmale der Mast (tgZ, tägliche Futtermittelaufnahme (FuA), Futtermittelverwertung (FVW), Einstall- (EGeW) und Ausstallgewicht (AGeW)) wurden buchtenweise erfasst. Für die Auswertung der Merkmale GgW, Netto-Lebenstagszunahme (LtgZ_{netto}), Auto-FOM-Schlachtdaten sowie der pH-Wert Messungen (pH_{45min}, pH_{24h}) wurden hingegen die Einzeltierdaten zugrunde gelegt. Höhere Zunahmen (tgZ, $p < 0,01$; LtgZ_{netto}, $p < 0,001$), eine höherer FuA ($p < 0,01$), ein schwereres AGeW ($p < 0,05$) wurden bei den Nachkommen der Endstufeneberlinie A ermittelt. Im EGeW ($p = 0,743$) und in der FVW ($p = 0,179$) lagen keine Unterschiede vor. Magerere Schlachtkörper und schwerere Teilstücke ($p < 0,001$) erreichten die Nachkommen der Endstufeneberlinie B. Die Schlachtkörper der Endstufeneberlinie A verfügten über eine bessere Fleischqualität (pH_{24h}, $p < 0,001$). Unabhängig von der Genetik führten höhere Geburtsgewichte zu magereren Schlachtkörpern mit schwereren Teilstücken ($p < 0,001$) im Vergleich zu mittleren und leichten Geburtsgewichten. Niedrigere Zunahmen (tgZ, $p \leq 0,05$; LtgZ_{netto}, $p < 0,001$), eine bessere FVW ($p < 0,01$) und Vorteile im Schlachtkörperwert ($p < 0,001$) lagen

bei den weiblichen Tieren im Vergleich zu den männlichen vor. Interaktionen zwischen der Endstufeneberlinie und dem Geschlecht erwiesen sich signifikant für das Wachstum ($p \leq 0,05$) und die Schlachtkörpermerkmale ($p < 0,001$). Lediglich für die Muskeldicke ($p < 0,01$) wurden Interaktionen zwischen der Endstufeneberlinie und der Geburtsgewichtsklasse festgestellt. Die Endstufeneberlinie A ist zu präferieren, um die Umtriebe pro Mastplatz und Jahr zu erhöhen. Die Endstufeneberlinie B ist eine Option, um im Schlachtkörperwert Vorteile zu generieren.

7 Summary

The present dissertation compares two terminal sire lines based on the performance of their crossbred offspring under standardized environmental conditions along the entire production chain (mating to slaughter) taking the birth weight into account. The thesis covers two major topics.

The first part of this thesis describes genetic and environmental effects on crossbred offspring in commercial pig production, pre- as well as postnatal. Both dam- and sire-related factors are considered and discussed in conjunction with increasing litter sizes. Additionally, this part reviews the individual piglet vitality under consideration of the litter size (see chapter 3, section 3.2 (Elbert et al., 2018)). It becomes clear, that piglets' vitality is a relevant trait to address the challenges of increasing litter sizes. Genetic impact on vitality is one aspect among several factors. However, genetics determines the piglets' adaptability to environmental factors expressed by robustness and susceptibility. Subsequently, decisions can be made at an early stage (at mating) to support the production of vital and well growing pigs. Continued selection for larger litter size is only justifiable, if animal welfare standards are considered, each additional piglet will be born alive and can be economically reared. Improving piglets' individual vitality in line with an adapted supporting management is key to reach a consensus regarding high animal welfare standards.

The second part of this thesis conducts a comparative analysis of the terminal sire lines. Two individual studies are underlying this analysis and are generally discussed with regard to increasing litter size and animal welfare issues. An overview about currently available terminal sire lines (on the German market) and breeders' preferences of relevant traits in terminal sire lines are explained. It must be emphasized that the comparative analysis was conducted under standardized environmental conditions in an integrated production system including data capture from mating to slaughter of the crossbred pigs.

The first study related to this topic represents the feeder pig production (see chapter 4, section 4.2 (Elbert et al., 2021)). Data include 150 litters of a synthetic sire line (A) and 154 of a Piétrain sire line (B), with 4,209 piglets' born alive. Litter traits such as number of total born (TNB), born alive (NBA) and weaned pigs per sow (NWPS) were established. Within 12 to 24 h after birth piglets' individual birth weight (BW_{birth}), sex (M / F) and body temperature (BT) were recorded. Additionally, the pre-weaning mortality was recorded. At the day of weaning, 665 randomly chosen pigs were individually weighed. Weaning weights (WW) were used to calculate the weaning average daily gain (WADG). Sire line affected TNB ($p < 0.0001$), NBA ($p < 0.01$) and NWPS ($p < 0.01$). Generally, each additional piglet per litter resulted in a 31.2 g lower BW_{birth} ($p < 0.001$).

Larger litter size, heavier BW_{birth} ($p < 0.01$) and lower BT ($p < 0.001$) were detected in litters of sire line B vs litters of sire line A. No differences between genotypes were detected for WADG, WW and pre-weaning mortality ($p > 0.05$). A positive correlation between BW_{birth} and WADG exists, resulting in an increasing WW ($p < 0.001$). Overall, heavier BW_{birth} piglets' had a higher BT ($p < 0.001$). The decision for a specific sire line offers the option to maintain litter size at a high level and simultaneously achieve higher birth weights with consequently more vital piglets' to meet animal welfare requirements. Sire line B combines a high litter size with an adequate birth weight.

The second study addresses the finishing of the feeder pigs described in the first study including their carcass value (see chapter 4, section 4.3 (Elbert et al., 2020)). 3,844 crossbred pigs from the above-mentioned matings were placed into finishing units and were grouped by genotype and sex. Pen was the unit for ADG, average daily feed intake (ADFI), feed conversion (FCR), initial body weight (BW_{initial}) and final body weight (BW_{final}). Birth weight (BW_{birth}) measured as described above, net ADG (ADG_{net}), Auto-FOM carcass cuts, $pH_{45\text{min}}$ and $pH_{24\text{h}}$ were recorded per individual pig. Offspring sired by line A grew faster (ADG, $p < 0.01$; ADG_{net} , $p < 0.001$), showed a higher ADFI ($p < 0.01$) and reached a higher BW_{final} ($p < 0.01$), but they had a similar BW_{initial} ($p = 0.743$) and FCR ($p = 0.179$). Leaner carcasses and heavier primal cuts ($p < 0.001$) were observed in pigs sired by line B. Carcasses of the other sire line (A) had a higher meat quality ($p < 0.001$). Regardless the genotype, heavier birth weights resulted in leaner, more valuable carcasses with higher valuable primal cuts ($p < 0.001$) compared to middle and low birth weight pigs. Slower grew (ADG, $p \leq 0.05$; ADG_{net} , $p < 0.001$), better FCR ($p < 0.01$) and advantages in carcass value ($p < 0.001$) were detected for female pigs compared to males. Sire line by sex interactions were significant for growth ($p \leq 0.05$) and carcass traits ($p < 0.001$). Interaction between sire line and birth weight classes were only detected for loin depth ($p < 0.01$). Terminal sire line A is preferable for maximizing throughput per finishing place and year. Line B is an option to increase leanness and carcass primal cuts.

8 Literaturverzeichnis

- Aaslyng, M.D., Hviid, M., 2020. Meat quality in the Danish pig population anno 2018. *Meat Sci.* 163, 108034. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108034>
- AHDB, 2006. 2006 Pig cost production in selected countries, InterPIG Report. AHDB Pork. Zugriff am 12.12.2019: https://pork.ahdb.org.uk/media/2369/2006_pig_cost_of_production_in_selected_countries.pdf
- AHDB, 2017. 2017 Pig cost of production in selected countries, InterPIG Report. AHDB Pork. Zugriff am 12.12.2019: <https://pork.ahdb.org.uk/media/276386/cost-of-pig-production-2017.pdf>
- Ahmad, S.F., Gaur, G.K., Sahoo, N.R., Bharti, P.K., Naha, B.C., 2020. Genetic parameters of pre-weaning weights in crossbred piglets using multi-trait animal model. *Trop. Anim. Health Prod.* 52, 109–114. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01985-0>
- Alegre, E., Garcia, M.T., Gonzalez-Castro, V., 2011. Vitality assessment of boar sperm using NCSR texture descriptor in digital images. In Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis proceedings. Zugriff am 05.02.2020: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.724.2914&rep=rep1&type=pdf>
- Alexopoulos, J.G., Lines, D.S., Hallett, S., Plush, K.J., 2018. A review of success factors for piglet fostering in lactation. *Animals* 8, 38. <https://doi.org/10.3390/ani8030038>
- Alonso, V., Rocco, V.V.B., Galdeano, J.V.B., Santana, R.S., Molero, A.H.T., de Oliveira, M.C., 2012. Split suckling in relation to the parturition order of sows. *Rev. Bras. Zootec.* 41, 221–224.
- Alvarenga, A.L.N., Chiarini-Garcia, H., Cardeal, P.C., Moreira, L.P., Foxcroft, G.R., Fontes, D.O., Almeida, F.R.C.L., 2012. Intra-uterine growth retardation affects birthweight and postnatal development in pigs, impairing muscle accretion, duodenal mucosa morphology and carcass traits. *Reprod. Fertil. Dev.* 25, 387. <https://doi.org/10.1071/RD12021>
- Amavizca-Nazar, A., Montalvo-Corral, M., González-Rios, H., Pinelli-Saavedra, A., 2019. Hot environment on reproductive performance, immunoglobulins, vitamin E, and vitamin A status in sows and their progeny under commercial husbandry. *J. Anim. Sci. Technol.* 61, 340–351. <https://doi.org/10.5187/jast.2019.61.6.340>
- Amdi, C., Krogh, U., Flummer, C., Oksbjerg, N., Hansen, C.F., Theil, P.K., 2013. Intrauterine growth restricted piglets defined by their head shape ingest insufficient amounts of colostrum. *J. Anim. Sci.* 91, 5605–5613.
- AMI, 2019a. Europaweit hohe Schweinepreise, Marktpreise für Schweine stark gestiegen. Agrar Informations-Gesellschaft mbH, Dreizehnmorgenweg 10, 53175 Bonn. Zugriff am 18.12.2019: <https://www.ami-informiert.de/ami-fleischwirtschaft/schweinepreis>
- AMI, 2019b. Schweinefleisch Versand von Deutschland nach China boomt. Agrar Informations-Gesellschaft mbH, Dreizehnmorgenweg 10, 53175 Bonn. Zugriff am 10.12.2019: <https://www.ami-informiert.de/ami-fleischwirtschaft/schweinepreis>
- AMI, 2020. Stabile EU-Schweineproduktion erwartet, Pro-Kopf-Verzehr. Agrar Informations-Gesellschaft mbH, Dreizehnmorgenweg 10, 53175 Bonn. Zugriff am 11.05.2020: <https://www.ami-informiert.de/ueber-die-ami>
- Andersen, I.L., Nævdal, E., Bøe, K.E., 2011. Maternal investment, sibling competition, and offspring survival with increasing litter size and parity in pigs (*Sus scrofa*). *Behav. Ecol. Sociobiol.* 65, 1159–1167. <https://doi.org/10.1007/s00265-010-1128-4>

- Andersson, E., Frössling, J., Engblom, L., Algers, B., Gunnarsson, S., 2016. Impact of litter size on sow stayability in Swedish commercial piglet producing herds. *Acta Vet. Scand.* 58, 31. <https://doi.org/10.1186/s13028-016-0213-8>
- Appleby, M.C., Pajor, E.A., Fraser, D., 1992. Individual variation in feeding and growth of piglets: effects of increased access to creep food. *Anim. Sci.* 55, 147–152. <https://doi.org/10.1017/S0003356100037375>
- Arsenakis, I., Appeltant, R., Sarrazin, S., Rijsselaere, T., Van Soom, A., Maes, D., 2017. Relationship between semen quality and meat quality traits in Belgian Piétrain boars. *Livest. Sci.* 205, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.09.009>
- Auvigne, V., Leneveu, P., Jehannin, C., Peltoniemi, O., Sallé, E., 2010. Seasonal infertility in sows: A five year field study to analyze the relative roles of heat stress and photoperiod. *Theriogenology* 74, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.12.019>
- Aymerich, P., Gasa, J., Bonet, J., Coma, J., Solà-Oriol, D., 2019. The effects of sire line, sex, weight and marketing day on carcass fatness of non-castrated pigs. *Livest. Sci.* 228, 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.07.021>
- Bajena, M., Kondracki, S., Iwanina, M., Wysokińska, A., Adamiak, A., 2016. Physical characteristics of ejaculates produced by insemination boars depending on the interval between successive ejaculate collections. *J. Cent. Eur. Agric.* 17, 260–271. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/17.2.1699>
- Baxter, E.M., Jarvis, S., D'Eath, R.B., Ross, D.W., Robson, S.K., Farish, M., Nevison, I.M., Lawrence, A.B., Edwards, S.A., 2008. Investigating the behavioural and physiological indicators of neonatal survival in pigs. *Theriogenology* 69, 773–783. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.12.007>
- Baxter, E.M., Jarvis, S., Sherwood, L., Farish, M., Roehe, R., Lawrence, A.B., Edwards, S.A., 2011. Genetic and environmental effects on piglet survival and maternal behaviour of the farrowing sow. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 130, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2010.11.020>
- Baxter, E., Rutherford, K., D'Eath, R., Arnott, G., Turner, S., Sandøe, P., Moustsen, V., Thorup, F., Edwards, S., Lawrence, A., 2013. The welfare implications of large litter size in the domestic pig II: management factors. *Anim. Welf.* 22, 219–238. <https://doi.org/10.7120/09627286.22.2.219>
- Bayern-Genetik, 2020. Bayern-Genetik GmbH; Altenbach 2, 84036 Kumhausen; Ansprechpartnerin, persönliche Mitteilung: Frau Elisabeth Fischer, Tel.: 0871 / 953100
- Beaulieu, A.D., Aalhus, J.L., Williams, N.H., Patience, J.F., 2010. Impact of piglet birth weight, birth order, and litter size on subsequent growth performance, carcass quality, muscle composition, and eating quality of pork. *J. Anim. Sci.* 88, 2767–2778. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2222>
- Becker, U., Just, C., Sauermost, R., Bogenrieder, A., Collatz, K.-G., Kössel, H., Osche, G., 1987. *Lexikon der Biologie* 8. Harder Freiburg, Breisgau.
- Bennemann, P.E., Milbradt, E., Diehl, G.N., Weber, D., Schimidt, A.C.T., Bernardi, M.L., Wentz, I., Bortolozzo, F.P., 2004. Reproductive performance of sows submitted to intrauterine insemination at different pre-ovulatory intervals. *Anim. Reprod.* 1, 106–110.
- Bennemann, P.E., Koller, F.L., Bernardi, M.L., Wentz, I., Bortolozzo, F.P., 2007. Desempenho reprodutivo de fêmeas suínas submetidas à inseminação artificial intra-uterina ou à tradicional. *Ciênc. Rural* 37, 1735–1739.

- Bergamaschi, M., Maltecca, C., Fix, J., Schwab, C., Tiezzi, F., 2020. Genome-wide association study for carcass quality traits and growth in purebred and crossbred pigs. *J. Anim. Sci.* 98, skz360 <https://doi.org/10.1093/jas/skz360>
- BHZP, 2020. Bundeshybridzuchtprogramm GmbH, An der Wassermühle 8, 21368 Dahlenburg-Ellringen, db-Besamungen -mit Spitzengenetik zum Erfolg, BHZP Besamungsstationen: Alveslohe, Bösewig, Rätzlingen, Suderburg, Wilsum, Trebbichau. Zugriff am 20.05.2020: <https://www.bhzp.de/dbbesamung/besamungsstationen/>
- Bijma, P., 2014. The quantitative genetics of indirect genetic effects: a selective review of modelling issues. *Heredity* 112, 61–69. <https://doi.org/10.1038/hdy.2013.15>
- BLE, 2018. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Bericht zur Markt- und Versorgungslage Fleisch 2018. Zugriff am 01.01.2020: https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Fleisch/2018BerichtFleisch.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Bloemhof, S., Mathur, P.K., Knol, E.F., van der Waaij, E.H., 2013. Effect of daily environmental temperature on farrowing rate and total born in dam line sows. *J. Anim. Sci.* 91, 2667–2679. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5902>
- BMEL, 2019. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Anerkannte Zuchtunternehmen in Deutschland und der EU. Zugriff am 27.12.2019: <https://tgrdeu.genres.de/veroeffentlichungvoninformationengemaesstierzuchtrecht/zuechtereinigungen>
- BMEL, 2020: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Durchschnittsgewichte der gewerblich geschlachteten Tiere. Tabellen Nr.: MBT-0203190-0000. Zugriff am 15.06.2020: <https://www.bmel-statistik.de/nc/tabellen-finden/suchmaske/>
- Boe-Hansen, G.B., Christensen, P., Vibjerg, D., Nielsen, M.B.F., Hedebø, A.M., 2008. Sperm chromatin structure integrity in liquid stored boar semen and its relationships with field fertility. *Theriogenology* 69, 728–736. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.12.004>
- Bondoc, O.L., Isabol, J.F., Chua, M.A.P., 2019. Heterosis in reproductive traits of Landrace x Large White crossbred sows from a local swine breeding farm in the Philippines. *Philipp. J. Vet. Anim. Sci.* 45, 1–10.
- Boonraungrod, N., Sutthiya, N., Kumwan, P., Tossakui, P., Nuntapaitoon, M., Muns, R., Tummaruk, P., 2018. Control of parturition in swine using PGF2 α in combination with carbetocin. *Livest. Sci.* 214, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.05.012>
- Borg, K.E., Lunstra, D.D., Christenson, R.K., 1993. Semen characteristics, testicular size, and reproductive hormone concentrations in mature Duroc, Meishan, Fengjing, and Minzhu boars. *Biol. Reprod.* 49, 515–521. <https://doi.org/10.1095/biolreprod49.3.515>
- Bortolozzo, F.P., Menegat, M.B., Mellagi, A.P.G., Bernardi, M.L., Wentz, I., 2015. New artificial insemination technologies for swine. *Reprod. Domest. Anim.* 50, 80–84. <https://doi.org/10.1111/rda.12544>
- Boysen, T.-J., Heuer, C., Tetens, J., Reinhardt, F., Thaller, G., 2013. Novel use of derived genotype probabilities to discover significant dominance effects for milk production traits in dairy cattle. *Genetics* 193, 431–442. <https://doi.org/10.1534/genetics.112.144535>

- Braun, 2020. ThermoScan® Ear thermometer, Gebrauchsanleitung. Zugriff am 22.05.2020: http://www.service-downloads.com/data/files/hot/manuals/thermometers/irt6020_6520_westerneurope_ownermanual_04mar14.pdf
- Brinsko, S.P., Varner, D.D., Love, C.C., Blanchard, T.L., Day, B.C., Wilson, M.E., 2005. Effect of feeding a DHA-enriched nutraceutical on the quality of fresh, cooled and frozen stallion semen. *Theriogenology* 63, 1519–1527. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.07.010>
- Briz, M.D., Bonet, S., Pinart, B., Egozcue, J., Camps, R., 1995. Comparative study of boar sperm coming from the caput, corpus, and cauda regions of the epididymis. *J. Androl.* 16, 175–188. <https://doi.org/10.1002/j.1939-4640.1995.tb01751.x>
- Broekhuijse, M.L.W.J., Feitsma, H., Gadella, B.M., 2012a. Artificial insemination in pigs: predicting male fertility. *Vet. Q.* 32, 151–157. <https://doi.org/10.1080/01652176.2012.735126>
- Broekhuijse, M.L.W.J., Šošarić, E., Feitsma, H., Gadella, B.M., 2012b. The value of microscopic semen motility assessment at collection for a commercial artificial insemination center, a retrospective study on factors explaining variation in pig fertility. *Theriogenology* 77, 1466-1479.e3. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.11.016>
- Brown, B., 1994. A review of nutritional influences on reproduction in boars, bulls and rams. *Reprod. Nutr. Dev.* 34, 89–114. <https://doi.org/10.1051/rnd:19940201>
- BRS, 2020. Empfehlung der Besamungssationen im BRS, ehemals ZDS, Bundesverband Rind und Schwein e.V. (BRS)-Standard Spermaqualität. Zugriff am 12.01.2020: https://www.rindschwein.de/services/files/gesetzevo/gb_201005.pdf
- Brüssow, K., Wähner, M., 2008. Biologische Potentiale in der Sauenfruchtbarkeit. *Züchtungsk.* 80, 370–377.
- BUS, 2020. Besamungsunion Schwein, Schweinezuchtverband Baden-Württemberg e.V. (SZU), Im Wolfer 10, 70599 Stuttgart-Plieningen. Genetik und Eberdaten. Zugriff am 20.05.2020: <https://www.besamungsunion-schwein.de/genetik-eberdaten/eberdaten>
- BVN, 2020. Besamungsverein Neustadt a.d Aisch e.V., Herausragende Genetik und Vielfalt. Zugriff am 20.05.2020: <https://www.bvn-online.de/de/schwein/genetik-2867.html>
- Cabrera, R.A., Lin, X., Campbell, J.M., Moeser, A.J., Odle, J., 2012. Influence of birth order, birth weight, colostrum and serum immunoglobulin G on neonatal piglet survival. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 3, 42. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-3-42>
- Calderón Díaz, J.A., Boyle, L.A., Diana, A., Leonard, F.C., Moriarty, J.P., McElroy, M.C., McGettrick, S., Kelliher, D., García Manzanilla, E., 2017. Early life indicators predict mortality, illness, reduced welfare and carcass characteristics in finisher pigs. *Prev. Vet. Med.* 146, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.07.018>
- Calderón Díaz, J.A., García Manzanilla, E., Diana, A., Boyle, L.A., 2018. Cross-fostering implications for pig mortality, welfare and performance. *Front. Vet. Sci.* 5, 123. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00123>
- Cámara, L., Berrocoso, J.D., Coma, J., López-Bote, C.J., Mateos, G.G., 2016. Growth performance and carcass quality of crossbreds pigs from two Piétrain sire lines fed isoproteic diets varying in energy concentration. *Meat Sci.* 114, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.013>
- Campbell, J.M., Crenshaw, J.D., Polo, J., 2013. The biological stress of early weaned piglets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4, 19. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-19>

- Case, C.L., Carlson, M.S., 2002. Effect of feeding organic and inorganic sources of additional zinc on growth performance and zinc balance in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 80, 1917–1924. <https://doi.org/10.2527/2002.8071917x>
- Cassady, J.P., Johnson, R.K., Ford, J.J., 2000. Comparison of plasma FSH concentration in boars and gilts from lines selected for ovulation rate and embryonal survival, and litter size and estimation of (co)variance components for FSH and ovulation rate. *J. Anim. Sci.* 78, 1430–1435. <https://doi.org/10.2527/2000.7861430x>
- Cerisuelo, A., Baucells, M.D., Gasa, J., Coma, J., Carrión, D., Chapinal, N., Sala, R., 2009. Increased sow nutrition during midgestation affects muscle fiber development and meat quality, with no consequences on growth performance. *J. Anim. Sci.* 87, 729–739. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0677>
- Chang, H.-L., Lai, Y.-Y., Wu, M.-C., Sasaki, O., 2017. Genetic correlations between male reproductive traits and growth traits in growth performance tested Duroc, Landrace and Yorkshire breed boars. *Anim. Sci. J.* 88, 1258–1268. <https://doi.org/10.1111/asj.12776>
- Chatelet, A., Gondret, F., Merlot, E., Gilbert, H., Friggens, N.C., Floc'h, N.L., 2018. Impact of hygiene of housing conditions on performance and health of two pig genetic lines divergent for residual feed intake. *animal* 12, 350–358. <https://doi.org/10.1017/S1751731117001379>
- Chen, C.Y., Misztal, I., Aguilar, I., Tsuruta, S., Meuwissen, T.H.E., Aggrey, S.E., Wing, T., Muir, W.M., 2011. Genome-wide marker-assisted selection combining all pedigree phenotypic information with genotypic data in one step: An example using broiler chickens. *J. Anim. Sci.* 89, 23–28. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3071>
- Chen, T.Y., Stott, P., Athorn, R.Z., Bouwman, E.G., Langendijk, P., 2012. Undernutrition during early follicle development has irreversible effects on ovulation rate and embryos. *Reprod. Fertil. Dev.* 24, 886–892. <https://doi.org/10.1071/RD11292>
- Chokoe, T.C., Siebrits, F.K., 2009. Effects of season and regulated photoperiod on the reproductive performance of sows. *South Afr. J. Anim. Sci.* 39. <https://doi.org/10.4314/sajas.v39i1.43545>
- Cilla, I., Altarriba, J., Guerrero, L., Gispert, M., Martínez, L., Moreno, C., Beltrán, J.A., Guàrdia, M.D., Diestre, A., Arnau, J., Roncalés, P., 2006. Effect of different Duroc line sires on carcass composition, meat quality and dry-cured ham acceptability. *Meat Sci.* 72, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.07.010>
- Cleveland, M.A., Hickey, J.M., 2013. Practical implementation of cost-effective genomic selection in commercial pig breeding using imputation. *J. Anim. Sci.* 91, 3583–3592. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6270>
- Collins, C.L., Pluske, J.R., Morrison, R.S., McDonald, T.N., Smits, R.J., Henman, D.J., Stensland, I., Dunshea, F.R., 2017. Post-weaning and whole-of-life performance of pigs is determined by live weight at weaning and the complexity of the diet fed after weaning. *Anim. Nutr.* 3, 372–379. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.01.001>
- Corcuera, B.D., Hernández-Gil, R., De Alba Romero, C., Martín Rillo, S., 2002. Relationship of environment temperature and boar facilities with seminal quality. *Livest. Prod. Sci.* 74, 55–62. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00286-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00286-X)
- Costermans, N.G.J., Teerds, K.J., Middelkoop, A., Roelen, B. a. J., Schoevers, E.J., van Tol, H.T.A., Laurensen, B., Koopmanschap, R.E., Zhao, Y., Blokland, M., van Tricht, F., Zak, L., Keijer, J., Kemp, B., Soede, N.M., 2020. Consequences of negative energy balance on follicular development and oocyte quality in primiparous sows. *Biol. Reprod.* 102, 388–398. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioz175>

- Costermans, N.G.J., Knol, E.F., Kemp, B., Keijer, J., Soede, N.M., Teerds, K.J., 2017. Follicular development of weaned sows in relation to estimated breeding value for within-litter variation in piglet birth weight. *Presented at the 10th International Conference on Pig Reproduction*, 11.-14. June 2017.
- Cromwell, G.L., Hall, D.D., Clawson, A.J., Combs, G.E., Knabe, D.A., Maxwell, C.V., Noland, P.R., Orr, D.E., Prince, T.J., 1989. Effects of additional feed during late gestation on reproductive performance of sows: A cooperative study. *J. Anim. Sci.* 67, 3–14. <https://doi.org/10.2527/jas1989.6713>
- Cwynar, P., Stojkov, J., Wlazlak, K., 2019. African swine fever status in Europe. *Viruses* 11, 310. <https://doi.org/10.3390/v11040310>
- Damgaard, L.H., Rydhmer, L., Løvendahl, P., Grandinson, K., 2003. Genetic parameters for within-litter variation in piglet birth weight and change in within-litter variation during suckling. *J. Anim. Sci.* 81, 604–610. <https://doi.org/10.2527/2003.813604x>
- DanBred, 2020a. Breeding for robustness in pigs: Conformation. Zugriff am 06.05.2020: <https://danbred.com/en/breeding-for-robustness-in-pigs-conformation/>
- DanBred. 2020b. Duroc 2020, die Zusammensetzung für das Zuchtziel von Duroc, wirtschaftlicher Beitrag. Zugriff am 03.05.2020: <https://danbred.com/de/zuchtsystem/zukuenftige-zuchtziele/>
- de Campos, C.F., Lopes, M.S., e Silva, F.F., Veroneze, R., Knol, E.F., Sávio Lopes, P., Guimarães, S.E.F., 2015. Genomic selection for boar taint compounds and carcass traits in a commercial pig population. *Livest. Sci.* 174, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.01.018>
- De Cuyper, C., Tanghe, S., Janssens, S., Van den Broeke, A., Van Meensel, J., Aluwé, M., Ampe, B., Buys, N., Millet, S., 2019. The effect of Piétrain sire on the performance of the progeny of two commercial dam breeds: a pig intervention study. *animal* 1–8. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000429>
- de Grau, A., Dewey, C., Friendship, R., de Lange, K., 2005. Observational study of factors associated with nursery pig performance. *Cana. J. Vet. Res.* 69, 241–245.
- De Rensis, F., Ziecik, A.J., Kirkwood, R.N., 2017. Seasonal infertility in gilts and sows: Aetiology, clinical implications and treatments. *Theriogenology* 96, 111–117. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.04.004>
- de Roest, K., Ferrari, P., Knickel, K., 2018. Specialisation and economies of scale or diversification and economies of scope? Assessing different agricultural development pathways. *J. Rural Stud.* 59, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.04.013>
- De, W., Ai-rong, Z., Yan, L., Sheng-yu, X., Hai-yan, G., Yong, Z., 2009. Effect of feeding allowance level on embryonic survival, IGF-1, insulin, GH, leptin and progesterone secretion in early pregnancy gilts. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 93, 577–585. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00844.x>
- Decaluwe, R., Janssens, G., Declerck, I., de Kruif, A., Maes, D., 2012. Induction of parturition in the sow. *VLAAMS Diergeneeskd. Tijdschr.* 81, 158–165.
- Decaluwé, R., Maes, D., Wuyts, B., Cools, A., Piepers, S., Janssens, G.P.J., 2014. Piglets' colostrum intake associates with daily weight gain and survival until weaning. *Livest. Sci.* 162, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.024>
- Declerck, I., Dewulf, J., Sarrazin, S., Maes, D., 2016. Long-term effects of colostrum intake in piglet mortality and performance. *J. Anim. Sci.* 94, 1633–1643.

- Declerck, I., Sarrazin, S., Dewulf, J., Maes, D., 2017. Sow and piglet factors determining variation of colostrum intake between and within litters. *animal* 11, 1336–1343. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000131>
- Deen, M.G.H., Bilkei, G., 2004. Cross fostering of low-birthweight piglets. *Livest. Prod. Sci.* 90, 279–284. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.02.012>
- Devillers, N., Farmer, C., Le Dividich, J., Prunier, A., 2007. Variability of colostrum yield and colostrum intake in pigs. *animal* 1, 1033–1041. <https://doi.org/10.1017/S175173110700016X>
- Devillers, N., Le Dividich, J., Prunier, A., 2011. Influence of colostrum intake on piglet survival and immunity. *animal* 5, 1605–1612. <https://doi.org/10.1017/S175173111100067X>
- Didion, B.A., Kaspersen, K.M., Wixon, R.L., Evenson, D.P., 2009. Boar fertility and sperm chromatin structure status: A retrospective report. *J. Androl.* 30, 655–660. <https://doi.org/10.2164/jandrol.108.006254>
- Ding, R., Yang, M., Quan, J., Li, S., Zhuang, Z., Zhou, S., Zheng, E., Hong, L., Li, Z., Cai, G., Huang, W., Wu, Z., Yang, J., 2019. Single-locus and Multi-locus genome-wide association studies for intramuscular fat in Duroc pigs. *Front. Genet.* 10, 619. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00619>
- Dodenhoff, J., Sinz, E., Helmreich, S., Obermaier, S., 2019. Neue Merkmale in der Schweinezucht und neue Wege in der Datenerfassung. Vortrag der LfL-Jahrestagung 2019, Schweinehaltung, neue Herausforderungen meistern! 27.11.2019 in Ergolding, Tagungsband, ISSN 1611-4159, 19–24.
- Donaldson, B., Villagomez, D.A.F., Revay, T., Rezaei, S., King, W.A., 2019. Non-random distribution of reciprocal translocation breakpoints in the pig genome. *Genes* 10, 769. <https://doi.org/10.3390/genes10100769>
- Dong, H.-J., Wu, D., Xu, S.-Y., Li, Q., Fang, Z.-F., Che, L.-Q., Wu, C.-M., Xu, X.-Y., Lin, Y., 2016. Effect of dietary supplementation with amino acids on boar sperm quality and fertility. *Anim. Reprod. Sci.* 172, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.08.003>
- Douglas, S.L., Edwards, S.A., Sutcliffe, E., Knap, P.W., Kyriazakis, I., 2013. Identification of risk factors associated with poor lifetime growth performance in pigs. *J. Anim. Sci.* 91, 4123–4132. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5915>
- Dube, B., Mulugeta, S.D., Dzama, K., 2013. Genetic relationship between growth and carcass traits in Large White pigs. *South Afr. J. Anim. Sci.* 43, 482–492. <https://doi.org/10.4314/sajas.v43i4.5>
- Ducci, M., Gazzano, A., Villani, C., Cela, V., Artini, P.G., Martelli, F., Genazzani, A.R., 2002. Membrane integrity evaluation in rabbit spermatozoa. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod. Biol.* 102, 53–56. [https://doi.org/10.1016/S0301-2115\(01\)00578-4](https://doi.org/10.1016/S0301-2115(01)00578-4)
- Ducos, A., Pinton, A., Berland, H.M., Séguéla, A., Brun-Baronnat, C., Bonnet, N., Darré, R., Milan, D., 2004. Cleft palate associated with an unbalanced karyotype in piglets sired by a heterozygous carrier boar with a balanced constitutional reciprocal translocation. *Vet. Rec.* 154, 659–661. <https://doi.org/10.1136/vr.154.21.659>
- Ducos, A., Berland, H.-M., Bonnet, N., Calgareo, A., Billoux, S., Mary, N., Garnier-Bonnet, A., Darré, R., Pinton, A., 2007. Chromosomal control of pig populations in France: 2002–2006 survey. *Genet. Sel. Evol.* 39, 583. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-39-5-583>
- Dufresne, M., Misztal, I., Tsuruta, S., Holl, J., Gray, K.A., Gengler, N., 2013. Estimation of genetic parameters for birth weight, preweaning mortality, and hot carcass weight of crossbred pigs. *J. Anim. Sci.* 91, 5565–5571. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6684>

- Dufrasne, M., 2014. Genetic improvement of pig sire lines for production performance in crossbreeding. *Dissertation, University Lüttich*.
- Dugué, C., Prunier, A., Mercat, M.J., Monziols, M., Blanchet, B., Larzul, C., 2020. Genetic determinism of boar taint and relationship with growth traits, meat quality and lesions. *animal* 14, 1333–1341. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000105>
- Edwards, S.A., Baxter, E.M., 2015. 11. Piglet mortality: causes and prevention, in: Farmer, C. (Ed.), *The gestating and lactating sow. Wageningen Academic Publishers*, 253–278. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-803-2_11
- Elbert, K., Tetens, J., Waßmuth, R., 2018. Vitale Ferkel – der Einfluss der Wurfgröße – eine Übersichtsarbeit. *Züchtungsk.* 90, 364–378.
- Elbert, K., Matthews, N., Wassmuth, R., Tetens, J., 2020. Effects of sire line, birth weight and sex on growth performance and carcass traits of crossbred pigs under standardized environmental conditions. *Arch. Anim. Breed.* 63, 367–376. <https://doi.org/10.5194/aab-63-367-2020>
- Elbert, K., Matthews, N., Wassmuth, R., Tetens, J., 2021. Vitality in relation to litter size of crossbred pigs and the effect of the terminal sire line. *Anim. Prod. Sci.* <https://doi.org/10.1071/AN20424>
- Emmans, G.C., Kyriazakis, I., 1997. Models of pig growth: problems and proposed solutions. *Livest. Prod. Sci.* 51, 119–129. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00061-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00061-4)
- Estienne, M.J., Haper, A.F., 2004. Boar feeding and nutrition. *Livestock Update, Virginia State University*. Zugriff am 03.12.2019: https://www.sites.ext.vt.edu/newsletter-archive/livestock/aps-04_10/aps-377.html
- Europäische Kommission, 2016. Attitudes of Europeans towards Animal Welfare. Special Eurobarometer 442. Zugriff am 20.12.2019: https://data.europa.eu/euodp/en/data/data-set/S2096_84_4_442_ENG
- Eurostat, 2020. Schweinebestand, jährliche Daten, online Abfrage. Zugriff am 10.06.2020: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=apro_mt_lspig&lang=de
- Evenson, D.P., Kasperson, K., Wixon, R.L., Didion, B.A., 2008. 228 Boar fertility and sperm chromatin structure assay defined sperm DNA fragmentation. *Reprod. Fertil. Dev.* 21, 212–212. <https://doi.org/10.1071/RDv21n1Ab228>
- Eyovwunu, D., Omeje, S.I., Akpodiete, J.O., 2016. Effects of genotype on the reproductive traits of the female pigs. *J. of Agric. and Vet. Sci.* 9, 20–22. <https://doi.org/10.9790/2380-09312022>
- Faccin, J.E.G., Laskoski, F., Hernig, L., Ulguim, R., Mellagi, A.P., Bortolozzo, F., 2019. 167 Increasing weaning age: a tool to improve pig performance in a multisite production system. *J. Anim. Sci.* 97, 95–96. <https://doi.org/10.1093/jas/skz122.172>
- Faccin, J.E.G., Laskoski, F., Hernig, L.F., Kummer, R., Lima, G.F.R., Orlando, U.A.D., Gonçalves, M.A.D., Mellagi, A.P.G., Ulguim, R.R., Bortolozzo, F.P., 2020. Impact of increasing weaning age on pig performance and belly nosing prevalence in a commercial multisite production system. *J. Anim. Sci.* skaa031. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa031>
- Fahmy, M.H., Holtmann, W.B., MacIntyre, T.M., Moxley, J.E., 1978. Evaluation of piglet mortality in 28 two-breed crosses among eight breeds of pig. *Anim. Sci.* 26, 277–285. <https://doi.org/10.1017/S0003356100040873>
- Farmer, C., Sørensen, M.T., 2001. Factors affecting mammary development in gilts. *Livest. Prod. Sci.*, Fifth International Workshop on the Biology of Lactation in Farm Animals 70, 141–148. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00207-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00207-X)

- Farmer, C., 2018. Nutritional impact on mammary development in pigs: a review. *J. Anim. Sci.* 96, 3748–3756. <https://doi.org/10.1093/jas/sky243>
- Fecke, A., 2013. Physiologische und genetische Einflüsse auf die Qualität von Schweinefleisch aus baden-württembergischen Gebrauchskreuzungen. *Dissertation, Universität Hohenheim*.
- Feldpausch, J.A., Jourquin, J., Bergstrom, J.R., Barges, J.L., Bokenkroger, C.D., Davis, D.L., Gonzalez, J.M., Nelssen, J.L., Puls, C.L., Trout, W.E., Ritter, M.J., 2019. Birth weight threshold for identifying piglets at risk for preweaning mortality. *Transl. Anim. Sci.* 3, 633–640. <https://doi.org/10.1093/tas/txz076>
- Fernández, A., Rodrigáñez, J., Zuzúarregui, J., Rodríguez, M.C., Silió, L., 2008. Genetic parameters for litter size and weight at different parities in Iberian pigs. *Span. J. Agric. Res.* 6, 98–106. <https://doi.org/10.5424/sjar/200806S1-378>
- Fix, J.S., Cassady, J.P., Holl, J.W., Herring, W.O., Culbertson, M.S., See, M.T., 2010a. Effect of piglet birth weight on survival and quality of commercial market swine. *Livest. Sci.* 132, 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.05.007>
- Fix, J.S., Cassady, J.P., Herring, W.O., Holl, J.W., Culbertson, M.S., See, M.T., 2010b. Effect of piglet birth weight on body weight, growth, backfat, and longissimus muscle area of commercial market swine. *Livest. Sci.* 127, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.08.007>
- FLI, 2020. Afrikanische Schweinepest. Friedrich-Löffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Tierseuchengeschehen. Zugriff am 06.06.2020: <https://www.fli.de/de/aktuelles/tierseuchengeschehen/afrikanische-schweinepest/>
- Flowers, W., 1997. Management of boars for efficient semen production. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 52, 67–78.
- Flowers, W.L., 2008. Genetic and phenotypic variation in reproductive traits of AI boars. *Theriogenology, Proceedings of the VIth International Conference on Boar Semen Preservation* 70, 1297–1303. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.06.016>
- Forni, S., Aguilar, I., Misztal, I., 2011. Different genomic relationship matrices for single-step analysis using phenotypic, pedigree and genomic information. *Genet. Sel. Evol.* 43, 1. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-43-1>
- Frangež, R., Gider, T., Kosec, M., 2005. Frequency of boar ejaculate collection and its influence on semen quality, pregnancy rate and litter size. *Acta Vet. Brno* 74, 265–273. <https://doi.org/10.2754/avb200574020265>
- Fraser, L., Strzeżek, J., Filipowicz, K., Mogielnicka-Brzozowska, M., Zasiadczyk, L., 2016. Age and seasonal-dependent variations in the biochemical composition of boar semen. *Theriogenology* 86, 806–816. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.02.035>
- Furstoss, V., Berthelot, F., Plat, M., Venturi, E., Royer, E., Elleboudt, F., Martinat-Botté, F., 2012. Genetic and non-genetic parameters related to embryo production in superovulated Large White (LW) gilts. *Anim. Reprod. Sci.* 134, 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.08.019>
- García-Casco, J.M., Fernández, A., Rodríguez, M.C., Silió, L., 2012. Heterosis for litter size and growth in crosses of four strains of Iberian pig. *Livest. Sci.* 147, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.03.005>

- Gebhardt, J.T., Thomson, K.A., Woodworth, J.C., Dritz, S.S., Tokach, M.D., DeRouchey, J.M., Goodband, R.D., Jones, C.K., Cochrane, R.A., Niederwerder, M.C., Fernando, S., Abbas, W., Burkey, T.E., 2020. Effect of dietary medium-chain fatty acids on nursery pig growth performance, fecal microbial composition, and mitigation properties against porcine epidemic diarrhea virus following storage. *J. Anim. Sci.* 98. skz358. <https://doi.org/10.1093/jas/skz358>
- Geisert, R.D., Schmitt, R. a. M., 2002. Early embryonic survival in the pig: Can it be improved? *J. Anim. Sci.* 80, E54–E65. <https://doi.org/10.2527/animalsci2002.0021881200800ES10009x>
- German Genetik. 2020. German Piétrain – Neuer Index für mehr Ferkel und Vitalität. Zugriff am 06.05.2020: https://www.german-genetic.de/attachments/article/335/181107_Flyer_German_Pi%C3%A9train_Vitalit%C3%A4t_2018.pdf
- GFS, 2020. Genossenschaft zur Förderung der Schweinehaltung eG., Zum Pöpping 29, 59387 Ascheberg. Ansprechpartnerin, persönliche Mitteilung: Frau Nadine Verenkotte, Tel.: 02593 / 9130
- Gilleland, H.L., Detweiler, R., Azain, M.J., Pringle, D., 2019. Effects of sire line, slaughter weight, and gender on pork quality and yield characteristics. *Meat Muscle Biol.* 1, 88–88. <https://doi.org/10.221751/rmc2017.083>
- Godinho, R.M., Bergsma, R., Silva, F.F., Sevillano, C.A., Knol, E.F., Lopes, M.S., Lopes, P.S., Bastiaansen, J.W.M., Guimarães, S.E.F., 2018. Genetic correlations between feed efficiency traits, and growth performance and carcass traits in purebred and crossbred pigs. *J. Anim. Sci.* 96, 817–829. <https://doi.org/10.1093/jas/skx011>
- Gogin, A., Gerasimov, V., Malogolovkin, A., Kolbasov, D., 2013. African swine fever in the North Caucasus region and the Russian Federation in years 2007–2012. *Virus Res.* 173, 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2012.12.007>
- Gonçalves, M.A.D., Gourley, K.M., Dritz, S.S., Tokach, M.D., Bello, N.M., DeRouchey, J.M., Woodworth, J.C., Goodband, R.D., 2016. Effects of amino acids and energy intake during late gestation of high-performing gilts and sows on litter and reproductive performance under commercial conditions. *J. Anim. Sci.* 94, 1993–2003. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0087>
- Gonzalez-Pena, D., Knox, R.V., Rodriguez-Zas, S.L., 2016. Contribution of semen trait selection, artificial insemination technique, and semen dose to the profitability of pig production systems: A simulation study. *Theriogenology* 85, 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.09.014>
- Grahofer, A., Letko, A., Häfliger, I.M., Jagannathan, V., Ducos, A., Richard, O., Peter, V., Nathues, H., Drögemüller, C., 2019. Chromosomal imbalance in pigs showing a syndromic form of cleft palate. *BMC Genomics* 20, 349. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5711-4>
- Große-Brinkhaus, C., Storck, L.C., Frieden, L., Neuhoﬀ, C., Schellander, K., Looft, C., Tholen, E., 2015. Genome-wide association analyses for boar taint components and testicular traits revealed regions having pleiotropic effects. *BMC Genet.* 16, 36. <https://doi.org/10.1186/s12863-015-0194-z>
- Gruhot, T.R., Calderón Díaz, J.A., Baas, T.J., Stalder, K.J., 2017. Using first and second parity number born alive information to estimate later reproductive performance in sows. *Livest. Sci.* 196, 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.12.009>

- Gruhot, T.R., Rempel, L.A., White, B.R., Mote, B.E., 2020. The effect of varicocele on semen quality in boars exposed to heat stress. *Transl. Anim. Sci.* 4, 293–298. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa003>
- Gualdrón Duarte, J.L., Bates, R.O., Ernst, C.W., Raney, N.E., Cantet, R.J., Steibel, J.P., 2013. Genotype imputation accuracy in a F2 pig population using high density and low density SNP panels. *BMC Genet.* 14, 38. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-14-38>
- Gunawan, A., Kaewmala, K., Uddin, M.J., Cinar, M.U., Tesfaye, D., Phatsara, C., Tholen, E., Looft, C., Schellander, K., 2011. Association study and expression analysis of porcine ESR1 as a candidate gene for boar fertility and sperm quality. *Anim. Reprod. Sci.* 128, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2011.08.008>
- Guo, X., Christensen, O.F., Ostersen, T., Wang, Y., Lund, M.S., Su, G., 2015. Improving genetic evaluation of litter size and piglet mortality for both genotyped and nongenotyped individuals using a single-step method. *J. Anim. Sci.* 93, 503. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8331>
- Hales, J., Moustsen, V.A., Nielsen, M.B.F., Hansen, C.F., 2013. Individual physical characteristics of neonatal piglets affect preweaning survival of piglets born in a noncrated system. *J. Anim. Sci.* 91, 4991–5003.
- Haley, C.S., Lee, G.J., Ritchie, M., 1995. Comparative reproductive performance in Meishan and Large White pigs and their crosses. *Anim. Sci.* 60, 259–267. <https://doi.org/10.1017/S1357729800008420>
- Han, T., Björkman, S., Soede, N.M., Oliviero, C., Peltoniemi, O. a. T., 2020. IGF-1 concentration patterns and their relationship with follicle development after weaning in young sows fed different pre-mating diets. *animal* 1–9. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000063>
- Hansen, P.J., 2009. Effects of heat stress on mammalian reproduction. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 364, 3341–3350. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0131>
- Hasan, S., Orro, T., Valros, A., Junnikkala, S., Peltoniemi, O., Oliviero, C., 2019. Factors affecting sow colostrum yield and composition, and their impact on piglet growth and health. *Livest. Sci.* 227, 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.07.004>
- Hazeleger, W., Soede, N.M., Kemp, B., 2005. The effect of feeding strategy during the pre-follicular phase on subsequent follicular development in the pig. *Domest. Anim. Endocrinol., Farm Animal Endocrinology Special Issue Part 2* 29, 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2005.03.007>
- Henningsen, A., Czekaj, T.G., Forkman, B., Lund, M., Nielsen, A.S., 2018. The relationship between animal welfare and economic performance at farm level: A quantitative study of danish pig producers. *J. Agric. Econ.* 69, 142–162. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12228>
- Heo, J.M., Opapeju, F.O., Pluske, J.R., Kim, J.C., Hampson, D.J., Nyachoti, C.M., 2013. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 97, 207–237. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01284.x>
- Hermesch, S., Li, L., Doeschl-Wilson, A.B., Gilbert, H., 2015. Selection for productivity and robustness traits in pigs. *Anim. Prod. Sci.* 55, 1437–1447. <https://doi.org/10.1071/AN15275>
- Hernández-Caravaca, I., Izquierdo-Rico, M.J., Matás, C., Carvajal, J.A., Vieira, L., Abril, D., Soriano-Úbeda, C., García-Vázquez, F.A., 2012. Reproductive performance and backflow study in cervical and post-cervical artificial insemination in sows. *Anim. Reprod. Sci.* 136, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.10.007>

- Herpin, P., Le Dividich, J., Hulin, J.C., Fillaut, M., De Marco, F., Bertin, R., 1996. Effects of the level of asphyxia during delivery on viability at birth and early postnatal vitality of newborn pigs. *J. Anim. Sci.* 74, 2067–2075.
- Herrera-Cáceres, W., Ragab, M., Sánchez, J.P., 2020. Indirect genetic effects on the relationships between production and feeding behaviour traits in growing Duroc pigs. *animal* 14, 233–242. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002179>
- Heuß, E.M., 2020. Genetic analyses of piglet survival and postnatal growth. *Dissertation, Universität Bonn*.
- Hiebert, T., 2020. Hohe Schweinepreise steigern die Nachfrage nach Duroc-Sperma. Für wen lohnt sich die Alternative zum Piétrain? *Schweinezucht und Schweinemast, SUS*. 1, 28–31.
- Hill, W.G., 1971. Theoretical aspects of crossbreeding. *Ann. Genet. Sel. anim.* 3, 23–34.
- Horký, P., Skladanka, J., Nevrkla, P., Slama, P., 2016a. Effect of diet supplemented with antioxidants (selenium, copper, vitamins E and C) on antioxidant status and ejaculate quality of breeding boars. *Ann. Anim. Sci.* 16, 521–532. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0085>
- Horký, P., Zeman, L., Skládanka, J., Nevrkla, P., Sláma, P., 2016b. Effect of selenium, zinc, vitamin C and E on boar ejaculate quality at heat stress. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun.* 64, 1167–1172. <https://doi.org/10.11118/actaun201664041167>
- Hortmann-Scholten, A., 2019a. Leiter Fachbereich Betriebswirtschaft, Markt, Unternehmensberatung, Familie und Betrieb, Sozioökonomische Beratung; LWK Niedersachsen, persönliche Mitteilung: Herr Dr. Albert Hortmann-Scholten, albert.hortmann-scholten@lwk-niedersachsen.de
- Hortmann-Scholten, A., 2019b. Entwicklungen am Ferkel- und Schweinemarkt Chancen der verschiedenen Labels, LFL-Jahrestagung 2019 Schweinefachtagung, 27.11.2019 Tagungsband, S. 9–17
- Hortmann-Scholten, A., 2020. Corona drückt die Märkte. *Schweinezucht und Schweinemast, SUS*. 3, 14–17
- Hoy, S., Schnurrbusch, U., Mehlhorn, G., 1982. Einfluss der Lichttaglänge und Lichtintensität auf die Entwicklung der Geschlechtsorgane bei kunstlicht gehaltener weiblicher Schweine. *Monatsh. Veterinarmed.* 37, 649–652.
- Hugman, J., Wang, L.F., Beltranena, E., Htoo, J.K., Zijlstra, R.T., 2020. Growth performance of weaned pigs fed raw, cold-pelleted, steam-pelleted, or extruded field pea. *Anim. Feed Sci. Technol.* In press, 114485. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114485>
- Huntemühlen, 2020. Eberstation Huntemühlen, Huntetalstraße 7, 49328 Melle. Eberangebot. Zugriff am 20.05.2020: <http://www.eberstation-huntemuehlen.de/eberangebot.html>
- Hunter, R.H.F., 1967. The effect of delayed insemination on fertilization and early cleavage in the pig. *Reproduction* 13, 133–147. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0130133>
- Hunter, R.H.F., Dziuk, P.J., 1968. Sperm penetration of pig eggs in relation to the timing of ovulation and insemination. *Reproduction* 15, 199–208. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0150199>
- Huser, J.S., Plush, K.J., Pitchford, W.S., Kennett, T.E., Lines, D.S., 2015a. Neonatal split suckling improves survival of small piglets. *Anim. Prod. Sci.* 55, 1477–1477. <https://doi.org/10.1071/ANv55n12Ab079>
- Huser, J.S., Kennett, T.E., Plush, K.J., Pitchford, W.S., Lines, D.S., 2015b. Neonatal split suckling has no impact on pre- and post-weaning piglet growth. *Anim. Prod. Sci.* 55, 1482–1482. <https://doi.org/10.1071/ANv55n12Ab080>

- Huting, A.M.S., Wellock, I., Tuer, S., Kyriazakis, I., 2019. Weaning age and post-weaning nursery feeding regime are important in improving the performance of lightweight pigs. *J. Anim. Sci.* 97, 4834–4844. <https://doi.org/10.1093/jas/skz337>
- Iida, R., Koketsu, Y., 2016. Lower farrowing rate in female pigs associated with higher outdoor temperatures in humid subtropical and continental climate zones in Japan. *Anim. Reprod.* 13, 63–68. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR728>
- IQA, 2020. IQ-Agrar Service GmbH, Iburger Straße 225, 49082 Osnabrück, persönliche Mitteilung: Herr Alexander Oechtering, Tel.: 0541 / 60028880
- Jacyno, E., Kawęcka, M., Pietruszka, A., Sosnowska, A., 2015. Phenotypic correlations of testes size with semen traits and the productive traits of young boars. *Reprod. Domest. Anim.* 50, 926–930. <https://doi.org/10.1111/rda.12610>
- Janiszewski, P., Borzuta, K., Lisiak, D., Grześkowiak, E., Stanisławski, D., 2019. Prediction of primal cuts by using an automatic ultrasonic device as a new method for estimating a pig-carcass slaughter and commercial value. *Anim. Prod. Sci.* 59, 1183–1189. <https://doi.org/10.1071/AN15625>
- Ji, F., Hurley, W.L., Kim, S.W., 2006. Characterization of mammary gland development in pregnant gilts. *J. Anim. Sci.* 84, 579–587. <https://doi.org/10.2527/2006.843579x>
- Jindal, R., Cosgrove, J.R., Aherne, F.X., Foxcroft, G.R., 1996. Effect of nutrition on embryonal mortality in gilts: association with progesterone. *J. Anim. Sci.* 74, 620–624. <https://doi.org/10.2527/1996.743620x>
- Jindal, R., Cosgrove, J.R., Foxcroft, G.R., 1997. Progesterone mediates nutritionally induced effects on embryonic survival in gilts. *J. Anim. Sci.* 75, 1063–1070. <https://doi.org/10.2527/1997.7541063x>
- Johnson, R.K., Nielsen, M.K., Casey, D.S., 1999. Responses in ovulation rate, embryonal survival, and litter traits in swine to 14 generations of selection to increase litter size. *J. Anim. Sci.* 77, 541–557. <https://doi.org/10.2527/1999.773541x>
- Jović, S., Čupić, V., Ristić, G., Vakanjac, S., Dimitrijević, B., Čupić-Miladinović, D., Živković, L., 2016. The influence of the induction of farrowing on live birth, body mass, appearance of dystocia, mortality and surviving of neonatal pigs in litter during the first ten days. *Vet. Glas.* 70, 13–29. <https://doi.org/10.2298/VETGL1602013J>
- Kaeoket, K., Tantasuparuk, W., Kunavongkritt, A., 2005. The effect of post-ovulatory insemination on the subsequent embryonic loss, oestrous cycle length and vaginal discharge in sows. *Reprod. Domest. Anim.* 40, 492–494. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2005.00618.x>
- Kanis, E., De Greef, K.H., Hiemstra, A., van Arendonk, J. a. M., 2005. Breeding for societally important traits in pigs. *J. Anim. Sci.* 83, 948–957. <https://doi.org/10.2527/2005.834948x>
- Karthikeyan, A., Kumar, A., Chaudhary, R., Bashir Wara, A., Singh, A., Sahoo, N.R., Baqir, M., Mishra, B.P., 2020. Genome-wide association study of birth weight and pre-weaning body weight of crossbred pigs. *Indian Journal of Animal Sciences* 90, 195–200.
- Kaufmann, D., Hofer, A., Bidanel, J.P., Künzi, N., 2000. Genetic parameters for individual birth and weaning weight and for litter size of Large White pigs. *J. Anim. Breed. Genet.* 117, 121–128. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0388.2000.00238.x>
- Kemp, B., Den Hartog, L.A., Grooten, H.J.G., 1989. The effect of feeding level on semen quantity and quality of breeding boars. *Anim. Reprod. Sci.* 20, 245–254. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(89\)90073-0](https://doi.org/10.1016/0378-4320(89)90073-0)

- Khanal, P., Maltecca, C., Schwab, C., Gray, K., Tiezzi, F., 2019a. Genetic parameters of meat quality, carcass composition, and growth traits in commercial swine. *J. Anim. Sci.* 97, 3669–3683. <https://doi.org/10.1093/jas/skz247>
- Kielland, C., Rootwelt, V., Reksen, O., Framstad, T., 2015. The association between immunoglobulin G in sow colostrum and piglet plasma. *J. Anim. Sci.* 93, 4453–4462. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8713>
- Kim, S.W., Hurley, W.L., Wu, G., Ji, F., 2009. Ideal amino acid balance for sows during gestation and lactation. *J. Anim. Sci.* 87, E123–E132. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1452>
- Kim, S.W., Weaver, A.C., Shen, Y.B., Zhao, Y., 2013. Improving efficiency of sow productivity: nutrition and health. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4, 26. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-26>
- Kirkden, R.D., Broom, D.M., Andersen, I.L., 2013. Piglet mortality: The impact of induction of farrowing using prostaglandins and oxytocin. *Anim. Reprod. Sci.* 138, 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.02.009>
- Klaaborg, J., Carl, T.N., Bruun, T.S., Strathe, A.V., Bache, J.K., Kristensen, A.R., Amdi, C., 2019. The effect of feeding strategy during rearing in a commercial setting on gilt body condition, lactation performance and culling rate in modern sows nursing large litters. *Livest. Sci.* 228, 144–150. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.08.011>
- Kleve-Feld, M., 2014. Die prospektive Bedeutung der klinisch-andrologischen Diagnostik für die Produktivität von Piétrain-Ebern in Besamungsstationen. *Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.*
- Kleve-Feld, M., Riesenbeck, A., Bayerbach, M., Waberski, D., 2015. Varicocele testis in Piétrain boars and its effect on sperm quality. *Reprod. Domest. Anim.* 50, 110. <https://doi.org/10.1111/rda.12560>
- Knap, P.W., 2005. Breeding robust pigs. *Aust. J. Exp. Agric.* 45, 763–773. <https://doi.org/10.1071/EA05041>
- Knapp, P., Willam, A., Sölkner, J., 1997. Genetic parameters for lean meat content and meat quality traits in different pig breeds. *Livest. Prod. Sci.* 52, 69–73. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00120-6](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00120-6)
- Knecht, D., Środoń, S., Szulc, K., Duziński, K., 2013. The effect of photoperiod on selected parameters of boar semen. *Livest. Sci.* 157, 364–371. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.027>
- Knecht, D., Duziński, K., 2014. The effect of parity and date of service on the reproductive performance of Polish Large White × Polish Landrace (PLW × PL) crossbred sows. *Ann. Anim. Sci.* 14, 69–79. <https://doi.org/10.2478/aoas-2013-0077>
- Knecht, D., Jankowska-Mąkosa, A., Duziński, K., 2017a. Analysis of the lifetime and culling reasons for AI boars. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 8, 49. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0179-z>
- Knecht, D., Jankowska-Mąkosa, A., Duziński, K., 2017b. The dependence of the growth rate and meat content of young boars on semen parameters and conception rate. *animal* 11, 802–810. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001993>
- Knol, E.F., Leenhouders, J.I., van der Lende, T., 2002a. Genetic aspects of piglet survival. *Livest. Prod. Sci.* 78, 47–55. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00184-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00184-7)
- Knol, E. F., Ducro, B.J., van Arendonk, J.A.M., van der Lende, T., 2002b. Direct, maternal and nurse sow genetic effects on farrowing-, pre-weaning- and total piglet survival. *Livest. Prod. Sci.* 73, 153–164. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00248-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00248-2)

- Knol, E.F., Nielsen, B., Knap, P.W., 2016. Genomic selection in commercial pig breeding. *Anim. Front.* 6, 15–22. <https://doi.org/10.2527/af.2016-0003>
- Knox, R.V., 2016. Artificial insemination in pigs today. *Theriogenology* 85, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.07.009>
- Kobek-Kjeldager, C., Moustsen, V.A., Theil, P.K., Pedersen, L.J., 2020. Effect of litter size, milk replacer and housing on production results of hyper-prolific sows. *animal* 14, 824–833. <https://doi.org/10.1017/S175173111900260X>
- Kociucka, B., Szczerbal, I., Bugaj, S., Orsztynowicz, M., Switonski, M., 2014. A high incidence of adjacent-1 meiotic segregation pattern, revealed by multicolor sperm FISH, in a carrier boar of a new reciprocal translocation t(6;16)(p13;q23). *Cytogenet. Genome Res.* 142, 21–27. <https://doi.org/10.1159/000355213>
- Koketsu, Y., Dial, G.D., Pettigrew, J.E., King, V.L., 1996. Feed intake pattern during lactation and subsequent reproductive performance of sows. *J. Anim. Sci.* 74, 2875–2884. <https://doi.org/10.2527/1996.74122875x>
- Koketsu, Y., Dial, G.D., 1998. Factors associated with average pig weight at weaning on farms using early weaning. *Anim. Sci.* 66, 247–253. <https://doi.org/10.1017/S1357729800009024>
- Koketsu, Y., Tani, S., Iida, R., 2017. Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porc. Health Manag.* 3, 1. <https://doi.org/10.1186/s40813-016-0049-7>
- Kołodziej, A., Jacyno, E., 2005. Effect of selenium and vitamin E supplementation on reproductive performance of young boars. *Arch. Anim. Breed.* 48, 68–75. <https://doi.org/10.5194/aab-48-68-2005>
- Kondracki, S., Wysokinska, A., Iwanina, M., Łacka, K., Łacka, N., Wesołowska, A., 2015. The sexual activity and ejaculate traits of Duroc, Hampshire and Piétrain boars and their crosses. *Acta Sci. Pol. Zootechnica.* 14, 99–108.
- Koziorowska-Gilun, M., Koziorowski, M., Strzeżek, J., Fraser, L., 2011. Seasonal changes in antioxidant defence systems in seminal plasma and fluids of the boar reproductive tract. *Reprod. Biol.* 11, 37–47. [https://doi.org/10.1016/S1642-431X\(12\)60062-X](https://doi.org/10.1016/S1642-431X(12)60062-X)
- Kraeling, R.R., Webel, S.K., 2015. Current strategies for reproductive management of gilts and sows in North America. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6, 3. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-6-3>
- Kumar, P., Srivastava, N., Pande, M., Prasad, J.K., Sirohi, A.S., 2017. Evaluating sperm cell viability and membrane integrity, in: Srivastava, N., Pande, M. (Eds.), *Protocols in semen biology (Comparing Assays)*. Springer, Singapore, 57–71. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5200-2_6
- Kušec, G., Kralik, G., Petričević, A., Margeta, V., Gajčević, Z., Gutzmirtl, D., Pešo, M., 2004. Differences in slaughtering characteristics between crossbred pigs with Piétrain and Duroc as terminal sire. *Acta agriculturae slovenica* 1, 121–127.
- Kwon, W.-S., Rahman, M.S., Lee, J.-S., Yoon, S.-J., Park, Y.-J., Pang, M.-G., 2015. Discovery of Predictive Biomarkers for Litter Size in Boar Spermatozoa. *Mol. Cell. Proteomics* 14, 1230–1240. <https://doi.org/10.1074/mcp.M114.045369>
- Langendijk, P., Chen, T.-Y., McIlfratrick, S.M., Nottle, M.B., 2016. Energy balance influences number of ovulations rather than embryo quality in the pig. *Theriogenology* 86, 1008–1013. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.029>

- Latacz-Lohmann, U., Schreiner, J.A., 2019. Assessing consumer and producer preferences for animal welfare using a common elicitation format. *J. Agric. Econ.* 70, 293–315. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12297>
- Latorre, M.A., Lázaro, R., Gracia, M.I., Nieto, M., Mateos, G.G., 2003. Effect of sex and terminal sire genotype on performance, carcass characteristics, and meat quality of pigs slaughtered at 117 kg body weight. *Meat Sci.* 65, 1369–1377. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00059-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00059-7)
- Lavery, A., Lawlor, P.G., Magowan, E., Miller, H.M., O’Driscoll, K., Berry, D.P., 2019. An association analysis of sow parity, live-weight and back-fat depth as indicators of sow productivity. *animal* 13, 622–630. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001799>
- Le Dividich, J., Charneca, R., Thomas, F., 2017. Relationship between birth order, birth weight, colostrum intake, acquisition of passive immunity and pre-weaning mortality of piglets. *Span. J. Agric. Res.* 15, 1–10.
- Le Dividich, J., Rooke, J.A., Herpin, P., 2005. Nutritional and immunological importance of colostrum for the new-born pig. *J. Agric. Sci.* 143, 469–485.
- Lee, J.-H., Song, K.-D., Lee, H.-K., Cho, K.-H., Park, H.-C., Park, K.-D., 2015. Genetic parameters of reproductive and meat quality traits in Korean Berkshire pigs. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 28, 1388–1393. <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0097>
- Lee, S., Hosseindoust, A., Choi, Y., Kim, M., Kim, K., Lee, J., Kim, Y., Chae, B., 2019. Age and weight at first mating affects plasma leptin concentration but no effects on reproductive performance of gilts. *J. Anim. Sci. Technol.* 61, 285–293. <https://doi.org/10.5187/jast.2019.61.5.285>
- Lee, S.I., Kim, I.H., 2018. Creep feeding improves growth performance of suckling piglets. *Rev. Bras. Zootec.* 47. <https://doi.org/10.1590/rbz4720170081>
- Levis, D.G., 1997. Managing postpubertal boars for optimum fertility. *Compend. Contin. Educ. Pract. Vet. USA.*
- Li, Y., Cao, Y., Zhou, X., Wang, F., Shan, T., Li, Z., Xu, W., Li, C., 2015. Effects of zinc sulfate pretreatment on heat tolerance of Bama miniature pig under high ambient temperature. *J. Anim. Sci.* 93, 3421–3430. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-8910>
- Li, X., Xie, S., Liu, X., Chen, Y., 2017. Genetic analysis for farrowing rate and litter size for Landrace and Yorkshire sows in South China. *Livest. Sci.* 205, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.09.008>
- Li, Y., Li, Z., Chen, J., Li, C., 2018. High ambient temperature impacts semen quality in boars and potential molecular drug-targets and nutritional strategies for amelioration, in: 10th International Livestock Environment Symposium. *American Society of Agricultural and Biological Engineers.* <https://doi.org/10.13031/iles.18-077>
- Liljenstolpe, C., 2008. Evaluating animal welfare with choice experiments: an application to Swedish pig production. *Agribusiness* 24, 67–84. <https://doi.org/10.1002/agr.20147>
- Lillehammer, M., Meuwissen, T.H.E., Sonesson, A.K., 2011. Genomic selection for maternal traits in pigs. *J. Anim. Sci.* 89, 3908–3916. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4044>
- Liu, Q., Duan, R.J., Zhou, Y.F., Wei, H.K., Peng, J., Li, J.L., 2017a. Supplementing oregano essential oil to boar diet with strengthened fish oil: Effects on semen antioxidant status and semen quality parameters. *Andrologia* 49, e12764. <https://doi.org/10.1111/and.12764>

- Liu, Qing, Zhou, Y.-F., Duan, R.-J., Wei, H.-K., Peng, J., Jiang, S.-W., 2017b. Dietary n-6:n-3 ratio and Vitamin E improve motility characteristics in association with membrane properties of boar spermatozoa. *Asian J. Androl.* 19, 223–229. <https://doi.org/10.4103/1008-682X.170446>
- Llamas-López, P.J., López-Úbeda, R., López, G., Antinoja, E., García-Vázquez, F.A., 2019. A new device for deep cervical artificial insemination in gilts reduces the number of sperm per dose without impairing final reproductive performance. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 10, 11. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0313-1>
- Loeffler, K., Gäbel, G., 2009. Anatomie und Physiologie der Haustiere, 12. Auflage. Eugen Ulmer KG Stuttgart.
- Loisel, F., Farmer, C., Ramaekers, P., Quesnel, H., 2014. Colostrum yield and piglet growth during lactation are related to gilt metabolic and hepatic status prepartum. *J. Anim. Sci.* 92, 2931–2941. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7472>
- Lopes, T.P., Sanchez-Osorio, J., Bolarin, A., Martinez, E.A., Roca, J., 2014. Relevance of ovarian follicular development to the seasonal impairment of fertility in weaned sows. *Vet. J.* 199, 382–386. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.11.026>
- Lopes, M.S., Bovenhuis, H., Hidalgo, A.M., van Arendonk, J.A.M., Knol, E.F., Bastiaansen, J.W.M., 2017. Genomic selection for crossbred performance accounting for breed-specific effects. *Genet. Sel. Evol.* 49, 51. <https://doi.org/10.1186/s12711-017-0328-z>
- Lopez, B.I., Kim, T.H., Makumbe, M.T., Song, C.W., Seo, K.S., 2017. Variance components estimation for farrowing traits of three purebred pigs in Korea. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 30, 1239–1244. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0002>
- Lopez, B.I., Seo, K.S., Viterbo, V., Song, C.W., 2019. Estimation of genetic parameters and accuracy of genomic prediction for production traits in Duroc pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 64, 160–165. <https://doi.org/10.17221/150/2018-CJAS>
- Lopez Rodriguez, A., Van Soom, A., Arsenakis, I., Maes, D., 2017. Boar management and semen handling factors affect the quality of boar extended semen. *Porc. Health Manag.* 3, 15. <https://doi.org/10.1186/s40813-017-0062-5>
- López-Soria, S., Nofrarías, M., Calsamiglia, M., Espinal, A., Valero, O., Ramírez-Mendoza, H., Mínguez, A., Serrano, J.M., Marín, Ó., Callén, A., Segalés, J., 2011. Post-weaning multisystemic wasting syndrome (PMWS) clinical expression under field conditions is modulated by the pig genetic background. *Vet. Microbiol.* 149, 352–357. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2010.12.009>
- Love, R., Evans, G., Klupiec, C., 1993. Seasonal effects on fertility in gilts and sows. - Abstract - Europe PMC. *Journal of Reproduction and fertility.* Supplement. 48, 191–206.
- Lovercamp, K.W., Safranski, T.J., Fischer, K.A., Manandhar, G., Sutovsky, M., Herring, W., Sutovsky, P., 2007. High Resolution Light Microscopic Evaluation of Boar Semen Quality Sperm Cytoplasmic Droplet Retention in Relationship with Boar Fertility Parameters. *Arch. Androl.* 53, 219–228. <https://doi.org/10.1080/01485010701426463>
- Lowell, J.E., Schunke, E.D., Harsh, B.N., Bryan, E.E., Stahl, C.A., Dilger, A.C., Boler, D.D., 2019. Growth performance, carcass characteristics, fresh belly quality, and commercial bacon slicing yields of growing-finishing pigs from sire lines intended for different industry applications. *Meat Sci.* 154, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.04.010>
- Lubritz, D., Johnson, B., Robison, O.W., 1991. Genetic parameters for testosterone production in boars. *J. Anim. Sci.* 69, 3220–3224. <https://doi.org/10.2527/1991.6983220x>

- Lucy, M.C., 2008. Functional differences in the growth hormone and insulin-like growth factor axis in cattle and pigs: Implications for post-partum nutrition and reproduction. *Reprod. Domest. Anim.* 43, 31–39. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01140.x>
- Lukač, D., 2013. Reproductive traits in relation to crossbreeding in pigs. *Afr. J. Agric. Res.* 8, 2166–2171. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.361>
- Lunstra, D., Ford, J., Klindt, Wise, T., 1997. Physiology of the Meishan boar. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 52, 181–193.
- Luo, J., Shen, L., Tan, Z., Cheng, X., Yang, D., Fan, Y., Yang, Q., Ma, J., Tang, Q., Jiang, A., Jiang, D., Tang, G., Jiang, Y., Li, X., Yang, R., Zhang, S., Zhu, L., 2018. Comparison reproductive, growth performance, carcass and meat quality of Liangshan pig crossbred with Duroc and Berkshire genotypes and heterosis prediction. *Livest. Sci.* 212, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.09.010>
- Luther, A.-M., Waberski, D., 2019. In vitro aging of boar spermatozoa: role of sperm proximity and seminal plasma. *Andrology* 7, 382–390. <https://doi.org/10.1111/andr.12600>
- Luyckx, K., Millet, S., Van Weyenberg, S., Herman, L., Heyndrickx, M., Dewulf, J., De Reu, K., 2016. A 10-day vacancy period after cleaning and disinfection has no effect on the bacterial load in pig nursery units. *BMC Vet. Res.* 12, 236. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0850-1>
- LWK Niedersachsen, 2019. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Preis-Kosten-Relation in der Schweinehaltung. In: Entwicklungen am Ferkel- und Schweinemarkt Chancen der verschiedenen Labels, LFL-Jahrestagung 2019 Schweinefachtagung 27.November 2019 Tagungsband, S. 10
- LWK Niedersachsen, 2020. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Besamung von Sauen durch den Tierhalter? Welche Bestimmungen sind zu beachten? Zugriff am 09.06.2020: <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/1/nav/2045/article/24130.html>
- LWK Nordrhein-Westfalen, 2020. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Die neue Düngeverordnung 2020, was verändert sich? Zugriff am 21.07.2020: <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/duengeverordnung/duev-2020.htm>
- LWK Schleswig-Holstein, 2010. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Schweinereport 2010. Zugriff am 08.12.2019: https://www.ssbsh.de/wp-content/uploads/2017/04/Schweinereport_2010.pdf
- LWK Schleswig-Holstein, 2019. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, Schweinereport 2019. Zugriff am 28.04.2020: https://www.lksh.de/fileadmin/PDFs/Landwirtschaft/Tier/Schweinereport_2019.pdf
- Ma, Y.L., Zanton, G.I., Zhao, J., Wedekind, K., Escobar, J., Vazquez-Añón, M., 2015. Multitrial analysis of the effects of copper level and source on performance in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 93, 606–614. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7796>
- Machado-Neto, R., Graves, C.N., Curtis, S.E., 1987. Immunoglobulins in Piglets from Sows Heat-Stressed Prepartum. *J. Anim. Sci.* 65, 445–455. <https://doi.org/10.2527/jas1987.652445x>
- MacPherson, R.M., Hovell, F.D.D., Jones, A.S., 1977. Performance of sows first mated at puberty or second or third oestrus, and carcass assessment of once-bred gilts. *Anim. Sci.* 24, 333–342. <https://doi.org/10.1017/S0003356100011843>

- Mallmann, A.L., Betiolo, F.B., Camilloti, E., Mellagi, A.P.G., Ulguim, R.R., Wentz, I., Bernardi, M.L., Gonçalves, M.A.D., Kummer, R., Bortolozzo, F.P., 2018. Two different feeding levels during late gestation in gilts and sows under commercial conditions: impact on piglet birth weight and female reproductive performance. *J. Anim. Sci.* 96, 4209–4219. <https://doi.org/10.1093/jas/sky297>
- Mallmann, A.L., Camilotti, E., Fagundes, D.P., Vier, C.E., Mellagi, A.P.G., Ulguim, R.R., Bernardi, M.L., Orlando, U.A.D., Gonçalves, M.A.D., Kummer, R., Bortolozzo, F.P., 2019a. Impact of feed intake during late gestation on piglet birth weight and reproductive performance: a dose-response study performed in gilts. *J. Anim. Sci.* 97, 1262–1272. <https://doi.org/10.1093/jas/skz017>
- Mallmann, A.L., Fagundes, D.P., Vier, C.E., Oliveira, G.S., Mellagi, A.P.G., Ulguim, R.R., Bernardi, M.L., Orlando, U.A.D., Cogo, R.J., Bortolozzo, F.P., 2019b. Maternal nutrition during early and late gestation in gilts and sows under commercial conditions: impacts on maternal growth and litter traits1. *J. Anim. Sci.* 97, 4957–4964. <https://doi.org/10.1093/jas/skz349>
- Marandu, N., Halimani, T.E., Chimonyo, M., Shoniwa, A., Mutibvu, T., 2015. Effect of within-litter birth weight variation on piglet survival and pre-weaning weight gain in a commercial herd. *J. Agric. Rural Dev. Trop. Subtrop.* 116, 123–129.
- Marin-Guzman, J., Mahan, D.C., Chung, Y.K., Pate, J.L., Pope, W.F., 1997. Effects of dietary selenium and vitamin E on boar performance and tissue responses, semen quality, and subsequent fertilization rates in mature gilts. *J. Anim. Sci.* 75, 2994–3003. <https://doi.org/10.2527/1997.75112994x>
- Marques, D.B.D., Lopes, M.S., Broekhuijse, M.L.W.J., Guimarães, S.E.F., Knol, E.F., Bastiaansen, J.W.M., Silva, F.F., Lopes, P.S., 2017. Genetic parameters for semen quality and quantity traits in five pig lines. *J. Anim. Sci.* 95, 4251–4259. <https://doi.org/10.2527/jas2017.1683>
- Marques, D.B.D., Bastiaansen, J.W.M., Broekhuijse, M.L.W.J., Lopes, M.S., Knol, E.F., Harlizius, B., Guimarães, S.E.F., Silva, F.F., Lopes, P.S., 2018. Weighted single-step GWAS and gene network analysis reveal new candidate genes for semen traits in pigs. *Genet. Sel. Evol.* 50, 40. <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0412-z>
- Martinez, F.A., 2005. Studies on the interaction of chromatin-unstable boar sperm with the female reproductive tract. *Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.*
- Matabane, M.B., Nethenzheni, P., Thomas, R., Norris, D., Nephawe, K., Tsatsimpe, M., Nedambale, T.L., 2017. 24 Relationship between boar sperm traits and fertility rate following artificial insemination under smallholder production systems. *Reprod. Fertil. Dev.* 29, 119–119. <https://doi.org/10.1071/RDv29n1Ab24>
- McPherson, F.J., Nielsen, S.G., Chenoweth, P.J., 2014. Semen effects on insemination outcomes in sows. *Anim. Reprod. Sci.* 151, 28–33. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.09.021>
- Merks, J.W.M., Mathur, P.K., Knol, E.F., 2012. New phenotypes for new breeding goals in pigs. *Animal* 6, 535–543. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002266>
- Metges, C.C., Lang, I.S., Hennig, U., Brüssow, K.-P., Kanitz, E., Tuchscherer, M., Schneider, F., Weitzel, J.M., Steinhoff-Ooster, A., Sauerwein, H., Bellmann, O., Nürnberg, G., Rehfeldt, C., Otten, W., 2012. Intrauterine growth retarded progeny of pregnant sows fed high protein:low carbohydrate diet is related to metabolic energy deficit. *PLOS ONE* 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031390>
- Meuwissen, T.H.E., Hayes, B.J., Goddard, M.E., 2001. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* 157, 1819–1829.

- Meuwissen, T.H., 2009. Accuracy of breeding values of “unrelated” individuals predicted by dense SNP genotyping. *Genet. Sel. Evol.* 41, 35. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-41-35>
- Mezalira, A., Dallanora, D., Bernardi, M.L., Wentz, I., Bortolozzo, F.P., 2005. Influence of sperm cell dose and post-insemination backflow on reproductive performance of intrauterine inseminated sows. *Reprod. Domest. Anim.* 40, 1–5. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2004.00524.x>
- Miar, Y., Plastow, G., Bruce, H., Moore, S., Manafiazar, G., Kemp, R., Charagu, P., Huisman, A., Haandel, B. van, Zhang, C., McKay, R., Wang, Z., 2014. Genetic and phenotypic correlations between performance traits with meat quality and carcass characteristics in commercial crossbred pigs. *PLOS ONE* 9, e110105. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110105>
- Middelkoop, A., Costermans, N., Kemp, B., Bolhuis, J.E., 2019. Feed intake of the sow and playful creep feeding of piglets influence piglet behaviour and performance before and after weaning. *Sci. Rep.* 9, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52530-w>
- Miller, A.T., Picton, H.M., Craigon, J., Hunter, M.G., 1998. Follicle dynamics and aromatase activity in high-ovulating Meishan sows and in Large-White hybrid contemporaries. *Biol. Reprod.* 58, 1372–1378. <https://doi.org/10.1095/biolreprod58.6.1372>
- Milligan, B.N., Fraser, D., Kramer, D.L., 2001a. Birth weight variation in the domestic pig: effects on offspring survival, weight gain and suckling behaviour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 73, 179–191. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(01\)00136-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(01)00136-8)
- Milligan, B.N., Fraser, D., Kramer, D.L., 2001b. The effect of littermate weight on survival, weight gain, and suckling behavior of low-birth-weight piglets in cross-fostered litters. *J. Swine Health Prod.* 9, 161–166.
- Minton, J.E., Fent, R.W., Wettemann, R.P., 1985. Influence of the duration of photoperiod on growth, testicular characteristics and endocrine function of boars. *Domest. Anim. Endocrinol.* 2, 53–59. [https://doi.org/10.1016/0739-7240\(85\)90026-8](https://doi.org/10.1016/0739-7240(85)90026-8)
- Moreira, R.H.R., Mendes, M.F. dos S.A., Palencia, J.Y.P., Lemes, M.A.G., Roque, A.R., Kutschenko, M., Ferreira, R.A., de Abreu, M.L.T., 2020. L-arginine supplementation during the final third of gestation improves litter uniformity and physical characteristics of neonatal piglet thermoregulation. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 104, 645–656. <https://doi.org/10.1111/jpn.13305>
- Morton, J., Langemeier, A., Rathbun, T., Davis, D.L., 2017. Split suckling, birth order, and birth weight affects colostrum intake and pre-weaning weight gain. *Kans. Agric. Exp. Stn. Res. Rep.* 3, 7. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7460>
- Mote, B.E., Rothschild, M.F., 2020. Chapter 14 - Modern genetic and genomic improvement of the pig, in: Bazer, F.W., Lamb, G.C., Wu, G. (Eds.), *Animal Agriculture. Academic Press*, 249–262. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00014-8>
- Muns, R., Manzanilla, E.G., Sol, C., Manteca, X., Gasa, J., 2013. Piglet behavior as a measure of vitality and its influence on piglet survival and growth during lactation. *J. Anim. Sci.* 91, 1838–1843. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5501>
- Murphy, E.M., Stanton, C., Brien, C.O., Murphy, C., Holden, S., Murphy, R.P., Varley, P., Boland, M.P., Fair, S., 2017. The effect of dietary supplementation of algae rich in docosahexaenoic acid on boar fertility. *Theriogenology* 90, 78–87. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.11.008>

- Myromslien, F.D., Tremoen, N.H., Andersen-Ranberg, I., Fransplass, R., Stenseth, E.-B., Zeremichael, T.T., Son, M. van, Grindflek, E., Gaustad, A.H., 2019. Sperm DNA integrity in Landrace and Duroc boar semen and its relationship to litter size. *Reprod. Domest. Anim.* 54, 160–166. <https://doi.org/10.1111/rda.13322>
- Niemann, C., 2020. Abrechnungsmasken, Indexpunkte und Muskelfleischanteil – Gewichtsgrenzen, persönliche Mitteilung: Frau Christa Niemann, Deutscher Bauernverband, Referat Tierische Erzeugung, Schorlemerstr. 15, 48143 Münster, 0251 / 4175150
- Niggemeyer, H., Werning, M., Schnippe, F., 2019. Neuer Druck aus Brüssel. Schweinezucht und Schweinemast, *SUS*. 4, 6.
- Nissen, A.K., Soede, N.M., Hyttel, P., Schmidt, M., D’Hoore, L., 1997. The influence of time of insemination relative to time of ovulation on farrowing frequency and litter size in sows, as investigated by ultrasonography. *Theriogenology* 47, 1571–1582. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(97\)00162-3](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00162-3)
- Nissen, P.M., Jorgensen, P.F., Oksbjerg, N., 2004. Within-litter variation in muscle fiber characteristics, pig performance, and meat quality traits. *J. Anim. Sci.* 82, 414–421. <https://doi.org/10.1093/ansci/82.2.414>
- Nuntapaitoon, M., Suwimonteerabutr, J., Am-in, N., Tienthai, P., Chuesiri, P., Kedkovid, R., Tummaruk, P., 2019. Impact of parity and housing conditions on concentration of immunoglobulin G in sow colostrum. *Trop. Anim. Health Prod.* 51, 1239–1246. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01816-2>
- Ocepek, M., Andersen-Ranberg, I., Edwards, S.A., Andersen, I.L., 2016. Udder characteristics of importance for teat use in purebred and crossbred pigs. *J. Anim. Sci.* 94, 780–788. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9420>
- Ocepek, M., Newberry, R.C., Andersen, I.L., 2017. Trade-offs between litter size and offspring fitness in domestic pigs subjected to different genetic selection pressures. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 193, 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.03.008>
- Okello, E., Amonya, C., Okwee-Acai, J., Erume, J., De Greve, H., 2015. Analysis of performance, management practices and challenges to intensive pig farming in peri-urban Kampala, Uganda. *Int. J. Livest. Prod.* 6, 1–7. <https://doi.org/10.5897/IJLP2014.0223>
- Oskam, I.C., Lervik, S., Tajet, H., Dahl, E., Ropstad, E., Andresen, Ø., 2010. Differences in testosterone, androstenedione, and skatole levels in plasma and fat between pubertal purebred Duroc and Landrace boars in response to human chorionic gonadotrophin stimulation. *Theriogenology* 74, 1088–1098. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.05.006>
- Ostersen, T., Christensen, O.F., Henryon, M., Nielsen, B., Su, G., Madsen, P., 2011. Deregressed EBV as the response variable yield more reliable genomic predictions than traditional EBV in pure-bred pigs. *Genet. Sel. Evol.* 43, 38. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-43-38>
- Pajžlar, L., Skok, J., 2019. Cross-fostering into smaller or older litter makes piglets integration difficult: Suckling stability-based rationale. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 220, 104856. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104856>
- Pandolfi, F., Edwards, S.A., Robert, F., Kyriazakis, I., 2017. Risk factors associated with the different categories of piglet perinatal mortality in French farms. *Prev. Vet. Med.* 137, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.12.005>

- Panzardi, A., Bernardi, M.L., Mellagi, A.P., Bierhals, T., Bortolozzo, F.P., Wentz, I., 2013. Newborn piglet traits associated with survival and growth performance until weaning. *Prev. Vet. Med.* 110, 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.11.016>
- Park, J., Campbell, C.P., Squires, E.J., de Lange, C.F.M., Mandell, I.B., 2019. Effects of pig genotype, immunological castration, and use of ractopamine on growth performance, carcass traits, and pork quality for entire male pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 99, 82–106. <https://doi.org/10.1139/cjas-2017-0166>
- Pedersen, M.L., 2013. Fertility higher with pooled Duroc semen than with semen from one boar. Videncenter for svineproduktio, *Trial Report* No. 969. Zugriff am 06.05.2020: <https://pdfs.semanticscholar.org/20db/5111f25aacc0c966c8b9f9667bbcc7725179.pdf>
- Pedersen, M.L.M., Velandar, I.H., Nielsen, M.B.F., Lundeheim, N., Nielsen, B., 2019. Duroc boars have lower progeny mortality and lower fertility than Piétrain boars. *Transl. Anim. Sci.* 3, 885–892. <https://doi.org/10.1093/tas/txz036>
- Peltoniemi, O., Björkman, S., Oropeza-Moe, M., Oliviero, C., 2019. Developments of reproductive management and biotechnology in the pig. *Anim. Reprod.* 16, 524–538. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-ar2019-0055>
- Peña, S.T., Gummow, B., Parker, A.J., Paris, D.B.B.P., 2017. Revisiting summer infertility in the pig: could heat stress-induced sperm DNA damage negatively affect early embryo development? *Anim. Prod. Sci.* 57, 1975–1983. <https://doi.org/10.1071/AN16079>
- Peña, S.T., Stone, F., Gummow, B., Parker, A.J., Paris, D.B.B.P., 2019a. Tropical summer induces DNA fragmentation in boar spermatozoa: implications for evaluating seasonal infertility. *Reprod. Fertil. Dev.* 31, 590–601. <https://doi.org/10.1071/RD18159>
- Peña, S.T., Gummow, B., Parker, A.J., Paris, D.B.B.P., 2019b. Antioxidant supplementation mitigates DNA damage in boar (*Sus scrofa domestica*) spermatozoa induced by tropical summer. *PLOS ONE* 14, e0216143. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216143>
- Père, M.-C., Etienne, M., 2007. Insulin sensitivity during pregnancy, lactation, and postweaning in primiparous gilts. *J. Anim. Sci.* 85, 101–110. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-130>
- Petrocelli, H., Batista, C., Gosálvez, J., 2015. Seasonal variation in sperm characteristics of boars in southern Uruguay. *Rev. Bras. Zootec.* 44, 1–7. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000100001>
- Petry, A., McGilvray, W., Rakhshandeh, A.R., Rakhshandeh, A., 2017. Technical note: Assessment of an alternative technique for measuring body temperature in pigs. *J. Anim. Sci.* 95, 3270–3274. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1566>
- PIC, 2020. Pig Improvement Company, Jathostraße 11a, 30163 Hannover; Ansprechpartner, persönliche Mitteilung: Herr Pieter Knap, Tel.: 0511 / 870850
- Plush, K., Glencorse, D., Alexopoulos, J., Tritton, S., Kirkwood, R., D'Souza, D., 2019. Effect of dextrose supplementation in the pre-ovulatory sow diet to reduce seasonal influences on litter birth weight variation. *Animals* 9, 1009. <https://doi.org/10.3390/ani9121009>
- Pruneda, A., Pinart, E., Dolors Briz, M., Sancho, S., Garcia-Gil, N., Badia, E., Kádár, E., Bassols, J., Bussalleu, E., Yeste, M., Bonet, S., 2005. Effects of a high semen-collection frequency on the quality of sperm from ejaculates and from six epididymal regions in boars. *Theriogenology* 63, 2219–2232. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.10.009>
- Prunier, A., Dourmad, J.Y., Etienne, M., 1994. Effect of light regimen under various ambient temperatures on sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 72, 1461–1466. <https://doi.org/10.2527/1994.7261461x>

- Prunier, A., Quesnel, H., 2000. Nutritional influences on the hormonal control of reproduction in female pigs. *Livest. Prod. Sci.* 63, 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00113-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00113-X)
- Putz, A.M., Tiezzi, F., Maltecca, C., Gray, K.A., Knauer, M.T., 2015. Variance component estimates for alternative litter size traits in swine. *J. Anim. Sci.* 93, 5153–5163. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9416>
- Qiao, Z., Zheng, J., Helgeland, Ø., Vaudel, M., Johansson, S., Njølstad, P.R., Smith, G.D., Warrington, N.M., Evans, D.M., 2020. Introducing M-GCTA a software package to estimate maternal (or paternal) genetic effects on offspring phenotypes. *Behav. Genet.* 50, 51–66. <https://doi.org/10.1007/s10519-019-09969-4>
- Quach, A.T., Revay, T., Villagomez, D.A.F., Macedo, M.P., Sullivan, A., Maignel, L., Wyss, S., Sullivan, B., King, W.A., 2016. Prevalence and consequences of chromosomal abnormalities in Canadian commercial swine herds. *Genet. Sel. Evol.* 48, 66. <https://doi.org/10.1186/s12711-016-0246-5>
- Quaing, M., 2019: Stehen wir vor einer Konsumwende? Schweinezucht und Schweinemast, *SUS*. 6, 12–15
- Quesnel, H., Pasquier, A., Mounier, A.-M., Louveau, I., Prunier, A., 1998a. Influence of feed restriction in primiparous lactating sows on body condition and metabolic parameters. *Reprod. Nutr. Dev.* 38, 261–274. <https://doi.org/10.1051/rnd:19980306>
- Quesnel, H., Pasquier, A., Mounier, A.M., Prunier, A., 1998b. Influence of feed restriction during lactation on gonadotropic hormones and ovarian development in primiparous sows. *J. Anim. Sci.* 76, 856–863. <https://doi.org/10.2527/1998.763856x>
- Quesnel, H., Boulot, S., Serriere, S., Venturi, E., Martinat-Botté, F., 2010. Post-insemination level of feeding does not influence embryonic survival and growth in highly prolific gilts. *Anim. Reprod. Sci.* 120, 120–124. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.04.006>
- Quesnel, H., 2011. Colostrum production by sows: variability of colostrum yield and immunoglobulin G concentrations. *animal* 5, 1546–1553. <https://doi.org/10.1017/S175173111100070X>
- Quiniou, N., Noblet, J., Dourmad, J.-Y., 1996. Effect of energy intake on the performance of different types of pig from 45 to 100 kg body weight. 2. Tissue gain. *Anim. Sci.* 63, 289–296. <https://doi.org/10.1017/S1357729800014843>
- Quiniou, N., Dagorn, J., Gaudré, D., 2002. Variation of piglets' birth weight and consequences on subsequent performance. *Livest. Prod. Sci.*, Peri- and Post-Natal Mortality in the Pig 78, 63–70. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00181-1](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00181-1)
- Rauw, W.M., Gomez-Raya, L., 2015. Genotype by environment interaction and breeding for robustness in livestock. *Front. Genet.* 6, 310 <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00310>
- Rehfeldt, C., Kuhn, G., 2006. Consequences of birth weight for postnatal growth performance and carcass quality in pigs as related to myogenesis. *J. Anim. Sci.* 84, E113–E123. https://doi.org/10.2527/2006.8413_supplE113x
- Ren, B., Cheng, X., Wu, D., Xu, S.-Y., Che, L.-Q., Fang, Z.-F., Lv, G., Dong, H.-J., Lin, Y., 2015. Effect of different amino acid patterns on semen quality of boars fed with low-protein diets. *Anim. Reprod. Sci.* 161, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.08.010>
- Renaudeau, D., Noblet, J., 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on sow milk production and performance of piglets. *J. Anim. Sci.* 79, 1540–1548. <https://doi.org/10.2527/2001.7961540x>

- Renaudeau, D., Gourdine, J.L., St-Pierre, N.R., 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 89, 2220–2230. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3329>
- Resende, P.C.S.L., Siqueira, A.P., Rodrigues, L.C., Lagares, M.A., Chiarini-Garcia, H., Almeida, F.R.C.L., 2019. Relationship between pre-pubertal biometrical measures and sperm parameters for the selection of high genetic merit pure and crossbred boars. *Theriogenology* 127, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.12.034>
- Revell, D.K., Williams, I.H., Mullan, B.P., Ranford, J.L., Smits, R.J., 1998. Body composition at farrowing and nutrition during lactation affect the performance of primiparous sows: II. Milk composition, milk yield, and pig growth. *J. Anim. Sci.* 76, 1738–1743. <https://doi.org/10.2527/1998.7671738x>
- Revermann, R., Winckler, C., Fuerst-Waltl, B., Leeb, C., Pfeiffer, C., 2018. Assessment of viability of new born piglets using an adjusted APGAR score. *J. Cent. Eur. Agric.* 19, 829–833. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/19.4.2332>
- Rhodes, V.J., 1995. The industrialization of hog production. *Rev. Agric. Econ.* 17, 107–118. <https://doi.org/10.2307/1349725>
- Robert, C., Palin, M.-F., Coulombe, N., Roberge, C., Silversides, F.G., Benkel, B.F., McKay, R.M., Pelletier, G., 1998. Backfat thickness in pigs is positively associated with leptin mRNA levels. *Can. J. Anim. Sci.* 78, 473–482. <https://doi.org/10.4141/A98-072>
- Robinson, J.A.B., Buhr, M.M., 2005. Impact of genetic selection on management of boar replacement. *Theriogenology*, Proceedings of the V International Conference on Boar Semen Preservation 63, 668–678. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.09.040>
- Roca, J., Parrilla, I., Rodriguez-Martinez, H., Gil, M.A., Cuello, C., Vazquez, J.M., Martinez, E.A., 2011. Approaches towards efficient use of boar semen in the pig industry. *Reprod. Domest. Anim.* 46, 79–83. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2011.01828.x>
- Roca, J., Broekhuijse, M., Parrilla, I., Rodriguez-Martinez, H., Martinez, E.A., Bolarin, A., 2015. Boar differences in artificial insemination outcomes: Can they be minimized? *Reprod. Domest. Anim.* 50, 48–55. <https://doi.org/10.1111/rda.12530>
- Roca, J., Perez-Patiño, C., Barranco, I., Padilla, L.C., Martínez, E.A., Rodriguez-Martinez, H., Parrilla, I., 2020. Proteomics in fresh and preserved pig semen: Recent achievements and future challenges. *Theriogenology* 150, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.01.066>
- Rodríguez, A., Sanz, E., De Mercado, E., Gómez, E., Martín, M., Carrascosa, C., Gómez-Fidalgo, E., Villagómez, D.A.F., Sánchez-Sánchez, R., 2010. Reproductive consequences of a reciprocal chromosomal translocation in two Duroc boars used to provide semen for artificial insemination. *Theriogenology* 74, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.12.020>
- Roehe, R., Shrestha, N.P., Mekki, W., Baxter, E.M., Knap, P.W., Smurthwaite, K.M., Jarvis, S., Lawrence, A.B., Edwards, S.A., 2009. Genetic analyses of piglet survival and individual birth weight on first generation data of a selection experiment for piglet survival under outdoor conditions. *Livest. Sci.* 121, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.06.010>
- Rooney, H.B., O'driscoll, K., O'doherty, J.V., Lawlor, P.G., 2020. Effect of increasing dietary energy density during late gestation and lactation on sow performance, piglet vitality, and lifetime growth of offspring. *J. Anim. Sci.* 98, skz379. <https://doi.org/10.1093/jas/skz379>

- Roongsitthichai, A., Cheuchuchart, P., Chatwijitkul, S., Chantarothai, O., Tummaruk, P., 2013. Influence of age at first estrus, body weight, and average daily gain of replacement gilts on their subsequent reproductive performance as sows. *Livest. Sci.* 151, 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.11.004>
- Roongsitthichai, A., Tummaruk, P., 2014. Importance of backfat thickness to reproductive performance in female pigs. *Thai J. Vet. Med.* 44, 171–178.
- Rozeboom, K.J., Reicks, D.L., Wilson, M.E., 2004. The reproductive performance and factors affecting on-farm application of low-dose intrauterine deposit of semen in sows. *J. Anim. Sci.* 82, 2164–2168. <https://doi.org/10.2527/2004.8272164x>
- Rozeboom, D. W., 2014. 1. Conditioning of the gilt for optimal reproductive performance, in: Farmer, C. (Ed.), *The gestating and lactating sow. Wageningen Academic Publishers*, 13–26. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-803-2_1
- Ruíz-Flores, A., Johnson, R.K., 2001. Direct and correlated responses to two-stage selection for ovulation rate and number of fully formed pigs at birth in swine. *J. Anim. Sci.* 79, 2286–2297. <https://doi.org/10.2527/2001.7992286x>
- Ruiz-Sánchez, A.L., O'Donoghue, R., Novak, S., Dyck, M.K., Cosgrove, J.R., Dixon, W.T., Foxcroft, G.R., 2006. The predictive value of routine semen evaluation and IVF technology for determining relative boar fertility. *Theriogenology* 66, 736–748. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.12.012>
- Sánchez-Aparicio, P., Mota-Rojas, D., Trujillo-Ortega, M.E., Zarco-Quintero, L.A., Becerril-Herrera, M., Alonso-Spilsbury, M., Alfaro-Rodríguez, A., 2009. Effect of prostaglandins for inducing birth on weight, vitality and physiological response in newborn pigs. *J. Appl. Anim. Res.* 36, 113–118. <https://doi.org/10.1080/09712119.2009.9707043>
- Sancho, S., Pinart, E., Briz, M., Garcia-Gil, N., Badia, E., Bassols, J., Kádár, E., Pruneda, A., Bussalleu, E., Yeste, M., Coll, M.G., Bonet, S., 2004. Semen quality of postpubertal boars during increasing and decreasing natural photoperiods. *Theriogenology* 62, 1271–1282. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.01.003>
- Sanglard, L.P., Leach, R.J., Gomez-Léon, V.E., Serão, N.V.L., 2019. Relationship between the testis size in male pigs and reproductive traits in their progeny. *Livest. Sci.* 228, 72–75. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.08.002>
- Santiago, P.R., Martínez-Burnes, J., Mayagoitia, A.L., Ramírez-Necochea, R., Mota-Rojas, D., 2019. Relationship of vitality and weight with the temperature of newborn piglets born to sows of different parity. *Livest. Sci.* 220, 26–31. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.12.011>
- Savić, R., Petrović, M., 2015. Effect of photoperiod on sexual activity of boar. *Rev. Bras. Zootec.* 44, 276–282. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000800002>
- Savić, R., Ausejo, M., Petrović, M., Radojković, D.D., Radović, Č., Gogić, M., 2017. Fertility of boars: What is important to know. *Biotechnol. Anim. Husb.* 33, 135–149. <https://doi.org/10.2298/BAH1702135S>
- Schenkel, A.C., Bernardi, M.L., Bortolozzo, F.P., Wentz, I., 2010. Body reserve mobilization during lactation in first parity sows and its effect on second litter size. *Livest. Sci.* 132, 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.002>
- Schmid, S.M., Büscher, W., Steinhoff-Wagner, J., 2019. PSII-9 Body core and skin temperatures in suckling piglets measured by infrared thermography and thermometry methods. *J. Anim. Sci.* 97, 234–235. <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.477>
- Schnippe, F., 2018. Sauenhalter in der Krise. *Schweinezeitung und Schweinemast, SUS.* 6, 8–9.

- Schnippe, F., 2019. Kupieren nur mit Attest. Schweinezucht und Schweinemast, *SUS*. 2, 32–34.
- Schodl, K., Revermann, R., Winckler, C., Fuerst-Waltl, B., Leeb, C., Willam, A., Knapp, P., Pfeiffer, C., 2019. Assessment of piglet vitality by farmers—Validation of a scoring scheme and estimation of associated genetic parameters. *Animals* 9, 317–326. <https://doi.org/10.3390/ani9060317>
- Schukken, Y.H., Buurman, J., Huirne, R.B.M., Willemse, A.H., Vernooy, J.C.M., van den Broek, J., Verheijden, J.H.M., 1994. Evaluation of optimal age at first conception in gilts from data collected in commercial swine herds. *J. Anim. Sci.* 72, 1387–1392. <https://doi.org/10.2527/1994.7261387x>
- Schulze, M., Buder, S., Rüdiger, K., Beyerbach, M., Waberski, D., 2014. Influences on semen traits used for selection of young AI boars. *Anim. Reprod. Sci.* 148, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2014.06.008>
- Sedó, C.A., Bilinski, M., Lorenzi, D., Uriondo, H., Noblía, F., Longobucco, V., Lagar, E.V., Nodar, F., 2017. Effect of sperm DNA fragmentation on embryo development: clinical and biological aspects. *JBRA Assist. Reprod.* 21, 343–350. <https://doi.org/10.5935/1518-0557.20170061>
- Segelke, D., Thaller, G., 2017. Imputing und die Nutzung von Haplotypeninformation als Quellen für innovative Züchtungsstrategien. *Züchtungsk.* 89, 61–69.
- Sellier, P., Legault, C., 1986. Chinese prolific breeds of pigs: examples of extreme genetic stocks. *Exploit. New Technol. Anim. Breed. Genet. Dev.* (Ed.) Smith, C., King, J.W.B., McKay, J.C., 153–162.
- Sell-Kubiak, E., Wang, S., Knol, E.F., Mulder, H.A., 2015. Genetic analysis of within-litter variation in piglets' birth weight using genomic or pedigree relationship matrices. *J. Anim. Sci.* 93, 1471–1480.
- Sell-Kubiak, E., Knol, E.F., Mulder, H.A., 2019. Selecting for changes in average “parity curve” pattern of litter size in Large White pigs. *J. Anim. Breed. Genet.* 136, 134–148. <https://doi.org/10.1111/jbg.12372>
- Silva, B. A. N., Noblet, J., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Primot, Y., Renaudeau, D., 2009. Effects of dietary protein concentration and amino acid supplementation on the feeding behavior of multiparous lactating sows in a tropical humid climate. *J. Anim. Sci.* 87, 2104–2112. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1332>
- Smital, J., Wolf, J., Sousa, L.L.D., 2005. Estimation of genetic parameters of semen characteristics and reproductive traits in AI boars. *Anim. Reprod. Sci.* 86, 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.05.023>
- Soede, N.M., Wetzels, C.C.H., Zondag, W., Koning, M.A.I. de, Kemp, B., 1995. Effects of time of insemination relative to ovulation, as determined by ultrasonography, on fertilization rate and accessory sperm count in sows. *Reproduction* 104, 99–106. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1040099>
- Soede, N.M., Kemp, B., 2019. Recent advances in pig reproduction: 2. Higher litter size. Presented at the Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Reprodução Animal, *CBRA*, Gramado, RS.
- Sommavilla, R., Costa, O.A.D., Honorato, L.A., Cardoso, C.S., Hötzel, M.J., 2015. Teat order affects postweaning behaviour in piglets. *Ciênc. Rural* 45, 1660–1666. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141512>
- Sonesson, A.K., de Greef, K.H., Meuwissen, T.H.E., 1998. Genetic parameters and trends of meat quality, carcass composition and performance traits in two selected lines of large white pigs. *Livest. Prod. Sci.* 57, 23–32. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00163-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00163-8)

- Sørensen, J.T., Edwards, S., Noordhuizen, J., Gunnarsson, S., 2006. Animal production systems in the industrialised world. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz* 25, 493–503.
- Spencer, J.D., Boyd, R.D., Cabrera, R., Allee, G.L., 2003. Early weaning to reduce tissue mobilization in lactating sows and milk supplementation to enhance pig weaning weight during extreme heat stress. *J. Anim. Sci.* 81, 2041–2052. <https://doi.org/10.2527/2003.8182041x>
- Statista, 2020a. Pro-Kopf-Konsum von Schweinefleisch in Deutschland in den Jahren 1991 bis 2019, Zugriff am 11.05.2020: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38140/umfrage/pro-kopf-verbrauch-von-schweinefleisch-in-deutschland/>
- Statista, 2020b. Selbstversorgungsgrad bei Schweinefleisch in ausgewählten Ländern der Europäischen Union im Jahr 2018. Zugriff am 06.01.2020: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/500931/umfrage/selbstversorgungsgrad-bei-schweinefleisch-in-der-eu-nach-laendern/>
- Statista, 2020c. Selbstversorgungsgrad bei Schweinefleisch in Deutschland in den Jahren 2006 bis 2019. Zugriff am 28.04.2020: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/76637/umfrage/selbstversorgungsgrad-bei-fleisch-in-deutschland/>
- Statistisches Bundesamt, 2020a. Genesis Online Datenbank. Abruf: Erhebung über die Viehbestände in Deutschland, Ferkel, Jungschweine, Mastschweine, Eber zur Zucht, Jungsauern, andere Sauen; 2016-2019. Zugriff am 28.04.2020: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>
- Statistisches Bundesamt, 2020b. Genesis Online Datenbank. Abruf: Erhebung über Schlachtungen und Schlachtgewichtsstatistik in Deutschland, Gewerbliche Schlachtungen von Schweinen inländ. und ausländ. Herkunft; 2016-2019. Zugriff am 28.04.2020: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>
- Statistisches Bundesamt, 2020c. Genesis Online Datenbank. Abruf: Erhebung über die Viehbestände in Deutschland, Betriebe; Schweine, Mastschweine, Zuchtschweine; 2016-2019. Zugriff am 27.04.2020: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online>
- Steinheuer, R., 2001. Schätzung von Varianzkomponenten und Kandidatengeneffekten für die paternale und maternale Komponente von Fruchtbarkeitsmerkmalen beim Schwein. *Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.*
- Straw, B., Bates, R., May, G., 2008. Influence of method of administration of prostaglandin on farrowing and relationship between gestation length and piglet performance. *J. Swine Health Prod.* 16, 138–143.
- Strimbu, K., Tavel, J.A., 2010. What are biomarkers? *Curr. Opin. HIV AIDS* 5, 463–466. <https://doi.org/10.1097/COH.0b013e32833ed177>
- Superchi, P., Saleri, R., Menčik, S., Dander, S., Cavalli, V., Izzi, C., Ablondi, M., Sabbioni, A., 2019. Relationships among maternal backfat depth, plasma adipokines and the birthweight of piglets. *Livest. Sci.* 223, 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.03.012>
- Suzuki, K., Kadowaki, H., Shibata, T., Uchida, H., Nishida, A., 2005. Selection for daily gain, loin-eye area, backfat thickness and intramuscular fat based on desired gains over seven generations of Duroc pigs. *Livest. Prod. Sci.* 97, 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.04.007>
- Swatland, H.J., 1973. Muscle growth in the fetal and neonatal pig. *J. Anim. Sci.* 37, 536–545. <https://doi.org/10.2527/jas1973.372536x>
- SWE, 2020. Schweinebesamungsstation Weser-Ems e.V.; Am Osterfeld 13, 49661 Bethen; Ansprechpartner, persönliche Mitteilung: Herr Johannes Korfhage, Tel.: 04471 / 91670

- Szostak, B., Przykaza, Ł., Apostolov, A., 2018. The effect of growth rate in pure-bred and cross-bred boars on their semen characteristics. *Bulg. J. Agric. Sci.* 24, 106–111.
- Tast, A., Love, R.J., Evans, G., Andersson, H., Peltoniemi, O.A.T., Kennaway, D.J., 2001. The photophase light intensity does not affect the scotophase melatonin response in the domestic pig. *Anim. Reprod. Sci.* 65, 283–290. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(01\)00077-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(01)00077-X)
- Taylor, A.E., Jagger, S., Toplis, P., Wellock, I.J., Miller, H.M., 2015. The effects of previous dietary Lys concentration on subsequent growth performance of two different pig genotypes. *Livest. Sci.* 176, 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.03.005>
- Tian, X., Li, D., He, Y., Zhang, W., He, H., Du, R., Pang, W., Yang, G., Yu, T., 2019. Supplementation of salvianic acid A to boar semen extender to improve seminal quality and antioxidant capacity. *Anim. Sci. J.* 90, 1142–1148. <https://doi.org/10.1111/asj.13263>
- Tölle, K.-H., 2019. Neue Ausrichtung der Schweineproduktion -Veränderungen, Chancen, ein Blick in die Zukunft. Schweinefachtagung Niedersachsen, 26.11.2019, Hausstette
- Tomiyama, M., Kanetani, T., Tatsukawa, Y., Mori, H., Oikawa, T., 2010. Genetic parameters for preweaning and early growth traits in Berkshire pigs when creep feeding is used. *J. Anim. Sci.* 88, 879–884. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2072>
- TOPIGS Norsvin, 2020a. Topigs SNW GmbH, Am Dorn 10, 48308 Senden. Robustheit wird Teil des Index TPI. Zugriff am 06.05.2020: <https://topignorsvin.de/news-de1/ausewogenezucht/robustheit-wird-teil-des-index-tpi/>
- TOPIGS Norsvin, 2020b. Topigs SNW GmbH, Am Dorn 10, 48308 Senden. Eberdatenbank. Zugriff am 20.05.2020: <http://starker-typ.de/eberdatenbank.php>
- Town, S.C., Patterson, J.L., Pereira, C.Z., Courley, G., Foxcroft, G.R., 2005. Embryonic and fetal development in a commercial dam-line genotype. *Anim. Reprod. Sci.* 85, 301–316.
- Tsakmakidis, I.A., Lymberopoulos, A.G., Khalifa, T. a. A., 2010. Relationship between sperm quality traits and field-fertility of porcine semen. *J. Vet. Sci.* 11, 151–154. <https://doi.org/10.4142/jvs.2010.11.2.151>
- Turpin, D.L., Langendijk, P., Chen, T.-Y., Pluske, J.R., 2016. Intermittent Suckling in Combination with an Older Weaning Age Improves Growth, Feed Intake and Aspects of Gastrointestinal Tract Carbohydrate Absorption in Pigs after Weaning. *Animals* 6, 66. <https://doi.org/10.3390/ani6110066>
- Tusell, L., Pérez-Rodríguez, P., Forni, S., Wu, X.-L., Gianola, D., 2013. Genome-enabled methods for predicting litter size in pigs: a comparison. *animal* 7, 1739–1749. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001389>
- Tusell, L., Gilbert, H., Vitezica, Z.G., Mercat, M.J., Legarra, A., Larzul, C., 2019. Dissecting total genetic variance into additive and dominance components of purebred and crossbred pig traits. *animal* 13, 2429–2439. <https://doi.org/10.1017/S1751731119001046>
- van Asten, A., Kiefer, A., Dauben, C., Verhaagh, M., 2019. Ferkelnarkose aufwendig und teuer! Schweinezucht und Schweinemast, *SUS*, 5, 52–55.
- van den Berg, S., Vandenplas, J., van Eeuwijk, F.A., Bouwman, A.C., Lopes, M.S., Veerkamp, R.F., 2019. Imputation to whole-genome sequence using multiple pig populations and its use in genome-wide association studies. *Genet. Sel. Evol.* 51, 2. <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0445-y>

- van den Bosch, M., Wijnen, J., van de Linde, I.B., van Wesel, A.A.M., Melchior, D., Kemp, B., van den Brand, H., Clouard, C., 2019. Effects of maternal dietary nitrate supplementation on farrowing and placental characteristics, level of asphyxiation at birth and piglet vitality. *Theriogenology* 129, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.01.033>
- van der Waaij, E.H., Hazeleger, W., Soede, N.M., Laurensen, B.F.A., Kemp, B., 2010. Effect of excessive, hormonally induced intrauterine crowding in the gilt on fetal development on day 40 of pregnancy. *J. Anim. Sci.* 88, 2611–2619. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2561>
- van Son, M., Tremoen, N.H., Gaustad, A.H., Myromslien, F.D., Våge, D.I., Stenseth, E.-B., Zeremichael, T.T., Grindflek, E., 2017. RNA sequencing reveals candidate genes and polymorphisms related to sperm DNA integrity in testis tissue from boars. *BMC Vet. Res.* 13, 362. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1279-x>
- van Wijk, H.J., Arts, D.J.G., Matthews, J.O., Webster, M., Ducro, B.J., Knol, E.F., 2005. Genetic parameters for carcass composition and pork quality estimated in a commercial production chain. *J. Anim. Sci.* 83, 324–333. <https://doi.org/10.2527/2005.832324x>
- Vasantha, I., 2016. Physiology of seasonal breeding: a review. *J. Vet. Sci. Technol.* 7, 331.
- Vasdal, G., Andersen, I.L., 2012. A note on teat accessibility and sow parity — consequences for newborn piglets. *Livest. Sci.* 146, 91–94. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.005>
- Vázquez-Gómez, M., García-Contreras, C., Astiz, S., Torres-Rovira, L., Fernández-Moya, E., Olivares, Á., Daza, A., Óvilo, C., González-Bulnes, A., Isabel, B., 2020. Piglet birthweight and sex affect growth performance and fatty acid composition in fatty pigs. *Anim. Prod. Sci.* 60, 573–583. <https://doi.org/10.1071/AN18254>
- Veissier, I., Butterworth, A., Bock, B., Roe, E., 2008. European approaches to ensure good animal welfare. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 113, 279–297. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.01.008>
- Vermeulen, L., Van Beirendonck, S., Bulens, A., Van Thielen, J., Driessen, B., 2016. Sire line of pigs affects weaning weight, growth performance, and carcass characteristics of offspring. *J. Anim. Sci.* 94, 4360–4368.
- Vogeler, C.S., 2019. Why do farm animal welfare regulations vary between EU member states? A comparative analysis of societal and party political determinants in France, Germany, Italy, Spain and the UK. *J. Common Mark. Stud.* 57, 317–335. <https://doi.org/10.1111/jcms.12794>
- Waberski, D., Meding, S., Dirksen, G., Weitze, K.F., Leiding, C., Hahn, R., 1994. Fertility of long-term-stored boar semen: Influence of extender (Androhep and Kiev), storage time and plasma droplets in the semen. *Anim. Reprod. Sci.* 36, 145–151. [https://doi.org/10.1016/0378-4320\(94\)90061-2](https://doi.org/10.1016/0378-4320(94)90061-2)
- Waberski D., Weitze K., 2007. Künstliche Besamung beim Schwein. In: Lehrbuch der künstlichen Besamung bei Haus-und Nutztieren, Hrsg. Busch W., Waberski D., Stuttgart, Schattauer Verlag. 198-223.
- Walker, N., Kilpatrick, D.J., Courtney, D.J., 1989. The effect of conception in gilts at puberty or second oestrus on reproductive performance over two parities. *Ir. J. Agric. Res.* 28, 115–121.
- Ward, S.A., Kirkwood, R.N., Plush, K.J., 2020. Are larger litters a concern for piglet survival or an effectively manageable trait? *Animals* 10, 309. <https://doi.org/10.3390/ani10020309>
- Watson, P.F., Behan, J.R., 2002. Intrauterine insemination of sows with reduced sperm numbers: results of a commercially based field trial. *Theriogenology* 57, 1683–1693. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)00648-9](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)00648-9)

- Webb, A.J., King, J.W.B., 1976. Development of a synthetic pig sire line by selection with immigration 1. Results of selection and heritability estimates. *Anim. Sci.* 22, 231–244. <https://doi.org/10.1017/S0003356100030932>
- Wehrend, A., Stratmann, N., Failing, K., Bostedt, H., 2005. Influence of partus induction on the pH value in the blood of newborn piglets. *J. Vet. Med. Ser. A.* 52, 472–473. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.2005.00759.x>
- Wei, X., Tsai, T., Knapp, J., Bottoms, K., Deng, F., Story, R., Maxwell, C., Zhao, J., 2020. ZnO modulates swine gut microbiota and improves growth performance of nursery pigs when combined with peptide cocktail. *Microorganisms* 8, 146. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8020146>
- Weible, D., Christoph-Schulz, I., Salamon, P., Zander, K., 2016. Citizens' perception of modern pig production in Germany: a mixed-method research approach. *Br. Food J.* 118, 2014–2032. <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2015-0458>
- Weldon, W.C., Thulin, A.J., MacDougald, O.A., Johnston, L.J., Miller, E.R., Tucker, H.A., 1991. Effects of increased dietary energy and protein during late gestation on mammary development in gilts. *J. Anim. Sci.* 69, 194–200. <https://doi.org/10.2527/1991.691194x>
- Werning, M., 2019. Haltungs-VO an der Praxis vorbei. Schweinezucht und Schweinemast, *SUS*. 4, 8–10.
- Whittemore, C.T., Green, D.M., Knap, P.W., 2001. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein. *Anim. Sci.* 73, 363–373. <https://doi.org/10.1017/S1357729800058331>
- Wiedemann, I., 2018. Molekulargenetische Analysen fortpflanzungsrelevanter Fragestellungen beim landwirtschaftlichen Nutztier. *Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen*.
- Wientjes, J.G.M., 2013. Piglet birth weight & litter uniformity importance of pre-mating nutritional and metabolic conditions. *Dissertation, Wageningen University*.
- Wientjes, Y.C.J., Calus, M.P.L., 2017. Board invited review: The purebred-crossbred correlation in pigs: A review of theory, estimates, and implications. *J. Anim. Sci.* 95, 3467–3478. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1669>
- Willam, A., Simianer, H., 2017. Tierzucht, Grundwissen Bachelor. Eugen Ulmer KG, Stuttgart.
- Willson, H.E., Rojas de Oliveira, H., Schinckel, A.P., Grossi, D., Brito, L.F., 2020. Estimation of genetic parameters for pork quality, novel carcass, primal-cut and growth traits in Duroc pigs. *Animals* 10, 779. <https://doi.org/10.3390/ani10050779>
- Wilson, M.E., Biensen, N.J., Youngs, C.R., Ford, S.P., 1998. Development of Meishan and Yorkshire littermate conceptuses in either a Meishan or Yorkshire uterine environment to day 90 of gestation and to term. *Biol. Reprod.* 58, 905–910. <https://doi.org/10.1095/biolreprod58.4.905>
- Wilson, M.E., Biensen, N.J., Ford, S.P., 1999. Novel insight into the control of litter size in pigs, using placental efficiency as a selection tool. *J. Anim. Sci.* 77, 1654–1658. <https://doi.org/10.2527/1999.7771654x>
- Wilson, M.E., Rozeboom, K.J., Crenshaw, T.D., 2004. Boar nutrition for optimum sperm production. *Advances in Pork Production* 15, 295.
- Wittenburg, D., Guiard, V., Teuscher, F., Reinsch, N., 2008. Comparison of statistical models to analyse the genetic effect on within-litter variance in pigs. *animal* 2, 1559–1568. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002851>
- Wolf, J., 2009. Genetic correlations between production and semen traits in pig. *animal* 3, 1094–1099. <https://doi.org/10.1017/S1751731109004686>

- Wolf, J., Smítal, J., 2009. Effects in genetic evaluation for semen traits in Czech Large White and Czech Landrace boars. *Czech J. Anim. Sci.* 54, 349–358. <https://doi.org/10.17221/1658-CJAS>
- Wolf, J., Wolfová, M., 2012. Effect of service sire on litter size traits in Czech Large White and Landrace pigs. *Czech J. Anim. Sci.* 57, 220–230. <https://doi.org/10.17221/5920-CJAS>
- Wolter, B.F., Ellis, M., 2001. The effects of weaning weight and rate of growth immediately after weaning on subsequent pig growth performance and carcass characteristics. *Can. J. Anim. Sci.* 81, 363–369. <https://doi.org/10.4141/A00-100>
- Wysokinska, A., Kondracki, A., Kowalewski, D., Adamiak, A., Muczynska, E., 2009. Effect of seasonal factors on the ejaculate properties of crossbred Duroc x Piétrain and Piétrain x Duroc boars as well as purebred Duroc and Piétrain boars. *Bull. Vet. Inst. Pulawy*, 53, 677–685
- Xiang, T., Ma, P., Ostersen, T., Legarra, A., Christensen, O.F., 2015. Imputation of genotypes in Danish purebred and two-way crossbred pigs using low-density panels. *Genet. Sel. Evol.* 47, 54. <https://doi.org/10.1186/s12711-015-0134-4>
- Xie, S., Broermann, D.M., Nephew, K.P., Geisert, R.D., Pope, W.F., 1990a. Ovulation and early embryogenesis in swine. *Biol. Reprod.* 43, 236–240. <https://doi.org/10.1095/biolreprod43.2.236>
- Xie, S., Broermann, D.M., Nephew, K.P., Bishop, M.D., Pope, W.F., 1990b. Relationship between oocyte maturation and fertilization on zygotic diversity in swine. *J. Anim. Sci.* 68, 2027–2033. <https://doi.org/10.2527/1990.6872027x>
- Xinhong, L., Zhen, L., Fu, J., Wang, L., Yang, Q., Li, P., Li, Y., 2018. Quantitative proteomic profiling indicates the difference in reproductive efficiency between Meishan and Duroc boar spermatozoa. *Theriogenology* 116, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.04.025>
- Xu, P., Li, Q., Jiang, K., Yang, Q., Bi, M., Jiang, C., Wang, X., Wang, C., Li, L., Qiao, C., Gong, H., Xing, Y., Ren, J., 2016. BAC mediated transgenic Large White boars with FSH α / β genes from Chinese Erhualian pigs. *Transgenic Res.* 25, 693–709. <https://doi.org/10.1007/s11248-016-9963-3>
- Xue, J.L., Dial, G.D., Marsh, W.E., Davies, P.R., 1994. Multiple manifestations of season on reproductive performance of commercial swine. *Journal of American Veterinary Medical Association* 9, 1486–1489.
- Yang, H., Eastham, P.R., Phillips, P., Whittemore, C.T., 1989. Reproductive performance, body weight and body condition of breeding sows with differing body fatness at parturition, differing nutrition during lactation, and differing litter size. *Anim. Sci.* 48, 181–201. <https://doi.org/10.1017/S0003356100003901>
- Yoder, C.L., Schwab, C.R., Fix, J.S., Duttlinger, V.M., Baas, T.J., 2012. Lactation feed intake in purebred and F1 sows and its relationship with reproductive performance. *Livest. Sci.* 150, 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.08.019>
- Young, L.G., King, G.J., Walton, J.S., McMillan, I., Klevorick, M., 1990. Reproductive performance over four parities of gilts stimulated to early estrus and mated at first, second or third observed estrus. *Can. J. Anim. Sci.* 70, 483–492. <https://doi.org/10.4141/cjas90-060>
- Zak, L.J., Gaustad, A.H., Bolarin, A., Broekhuijse, M.L.W.J., Walling, G.A., Knol, E.F., 2017. Genetic control of complex traits, with a focus on reproduction in pigs. *Mol. Reprod. Dev.* 84, 1004–1011. <https://doi.org/10.1002/mrd.22875>

- Zanella, R., Peixoto, J.O., Cardoso, F.F., Cardoso, L.L., Biegelmeier, P., Cantão, M.E., Otaviano, A., Freitas, M.S., Caetano, A.R., Ledur, M.C., 2016. Genetic diversity analysis of two commercial breeds of pigs using genomic and pedigree data. *Genet. Sel. Evol.* 48, 24. <https://doi.org/10.1186/s12711-016-0203-3>
- Zhai, H., Luo, Y., Ren, W., Schyns, G., Guggenbuhl, P., 2020. The effects of benzoic acid and essential oils on growth performance, nutrient digestibility, and colonic microbiota in nursery pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 262, 114426. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114426>
- Zhang, T., Wang, L.-G., Shi, H., Yan, H., Zhang, L., Liu, X., Pu, L., Liang, J., Zhang, Y., Zhao, K., Wang, L., 2016. Heritabilities and genetic and phenotypic correlations of litter uniformity and litter size in Large White sows. *J. Integr. Agric.* 15, 848–854. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61155-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61155-8)
- Zhao, Y., Gao, N., Cheng, J., El-Ashram, S., Zhu, L., Zhang, C., Li, Z., 2019. Genetic parameter estimation and genomic prediction of Duroc boars' sperm morphology abnormalities. *Animals* 9, 710. <https://doi.org/10.3390/ani9100710>
- Zhou, J., Wang, Y., Zeng, Xiangzhou, Zhang, T., Li, P., Yao, B., Wang, L., Qiao, S., Zeng, X., 2020. Effect of antibiotic-free, low-protein diets with specific amino acid compositions on growth and intestinal flora in weaned pigs. *Food Funct.* 11, 493–507. <https://doi.org/10.1039/C9FO02724F>
- Ziron, M., 2018. Tierschutz spaltet Europa. Schweinezucht und Schweinemast, *SUS.* 3, 19–20.
- Zotti, E., Resmini, F.A., Schutz, L.G., Volz, N., Milani, R.P., Bridi, A.M., Alfieri, A.A., da Silva, C.A., 2017. Impact of piglet birthweight and sow parity on mortality rates, growth performance, and carcass traits in pigs. *Rev. Bras. Zootec.* 46, 856–862. <https://doi.org/10.1590/s1806-9290201700110000>
- Zumbach, B., Misztal, I., Tsuruta, S., Holl, J., Herring, W., Long, T., 2007. Genetic correlations between two strains of Durocs and crossbreds from differing production environments for slaughter traits. *J. Anim. Sci.* 85, 901–908. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-499>

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen, die auf ihre Art und Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, ganz herzlich bedanken.

Zu allererst möchte ich mich bei **Prof. Dr. Jens Tetens**, für die Möglichkeit am Department für Nutztierwissenschaften in der Abteilung Funktional Breeding zu promovieren, die Übernahme des Erstprüferamtes sowie für die intensive Betreuung bei der Anfertigung der vorliegenden Arbeit ganz herzlich bedanken. Vielen Dank für Deine zahlreichen Korrekturen, Deine motivierende Unterstützung und die stets gute Zusammenarbeit.

Vielen herzlichen Dank an **Prof. Dr. Ralf Waßmuth**, ich danke Ihnen für die Übernahme des Zweitprüferamtes, das in mich gesetzte Vertrauen sowie die motivierenden und inspirierenden Worte während meines gesamten Studiums und in der Zeit der Promotion. Ihre Ruhe und Gelassenheit haben mir in diesen Jahren geholfen auch selber etwas ruhiger zu werden. Vielen Dank für Ihre Unterstützung und die stets gute Zusammenarbeit.

Vielen Dank **Prof. Dr. Daniel Mörlein**, für Ihre unkomplizierte Art und die Übernahme des Prüfungsbeisitzes.

Dr. Neal Matthews, it was and is a great pleasure to meet you and to learn from you. I thank you a lot for your support to conduct my PhD, your visits in Germany for the thesis committee meeting and your quiet helpful ideas and technical support how to work with a large data set in Excel and analyse these with the statistical program SAS. Thank you for the great and helpful experience in our well teamwork.

Vielen Dank an das **Agrarunternehmen Barnstädt e.G.** Angefangen bei **Dr. Jens Kluge**, vielen Dank für Ihr Vertrauen in meine Person diesen Versuch im AUB durchführen zu dürfen. Ohne Ihre Zustimmung wäre diese Arbeit so nicht möglich gewesen. Ich danke den **Labuddas (Anja, Katharina und Thomas)**, für ihr großes Engagement und Unterstützung bei den organisatorischen Abläufen und den Belegungen der Sauen. **Friedrich Höhne**, Ihnen danke ich für die Organisation des Verladens der Schlachtschweine. **Dirk**, Danke, dass Du die Tiere immer sicher nach Weißenfels gefahren hast. Mein größter Dank gilt den Mitarbeitern der Anlagen. Dem Team in Göhritz, insbesondere **Silke** und **Steffen**, sowie **Melina, Toni** und **Erik** und dem Team in Bad Lauchstädt, allen voran **Elisabeth** und **Daniel**. Von Euch habe ich nicht nur für den Moment, sondern auch fürs Leben gelernt. Es war eine schöne Zeit, die ich nie vergessen werde.

Der **Tönnies Holding ApS & Co. KG**, danke ich für die Möglichkeit der Datenerfassung. Mein ausdrücklicher Dank gilt **Hans-Jörg Eynck** für die zahlreichen wertvollen Kontakte in Weißenfels,

die Unterstützung bei der Organisation der Datenerfassung und die zügige Übersendung der Schlachtdaten. **Stefan Caspar** und **Mario Kurze**, Ihnen danke ich für die generelle Organisation „meiner“ Schweine in Weißenfels. Vielen herzlichen Dank an **Kai Rausch**, Sie haben stets zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort „den Daumen auf die Wunde gelegt“ und somit für Ordnung gesorgt. Mein besonderer Dank gilt den beiden Herren aus dem Kühlhaus, **Christian Deubel** und **Dirk Bastian**. Vielen Dank für Eure nette und zuvorkommende Art, mich bei den pH-Wert Messungen zu unterstützen.

Meinen herzlichen Dank an **Dr. Kerstin Reiners**, ohne Deine unermüdliche Unterstützung wäre diese Arbeit, in dieser Konstellation, nie entstanden. Danke für das in mich gesetzte Vertrauen, die zahlreichen Denkanstöße, die wegweisenden Vorschläge mit Herausforderungen umzugehen und für die wertvollen Kontakte in der Schweinebranche. Vielen Dank für Deine hilfreichen Korrekturen und die gewinnbringenden Anmerkungen in der gesamten Arbeit. Vor allem, Danke ich Dir, für Deine unerschöpfliche positive Art mich zu begeistern und Dein immer „offenes Ohr“.

Ein großes Dankeschön an **Christoph Schulte Südhoff**. Seit 2014 durfte ich so viel von Dir lernen. Ich danke Dir für Dein stets „offenes Ohr“ und die damit verbundenen regelmäßigen Telefonate. Danke, auch für Dein kritisches Hinterfragen meiner Gedankengänge sowie die resultierenden Denkanstöße und die stetige Motivation für diese Arbeit. Für Dein Vertrauen in mich, und dafür mir auch mal zu sagen; „Buch zu und Schluss für heute! Raus an die frische Luft, ab zu Deinem Pferd“, Danke ich Dir sehr.

Dr. Thomas Müller, vielen herzlichen Dank für Deine Unterstützung, Deinen Zuspruch und Deine Motivation mich weiterzubringen. Ohne Dich wäre ich wohl nie zu Herrn Dr. Kluge gekommen und die vorliegende Arbeit wäre so nicht entstanden. Ich danke Dir für die hilfreichen Gespräche und die funktionierenden Kontakte, sowie für die wertvollen Tipps im Umgang mit diesem Projekt.

Wolfgang Martin, Dir danke ich für Deine Zustimmung, wenn mal wieder „Not am Frau / Mann“ war und du mir sagtest: „ruf Friedrich an, ich denke er hat Zeit und wird Dich gerne unterstützen“.

Für den leidenschaftlichen und geduldigen Einsatz im Stall, vielen Dank an **Friedrich Gehrke-Dannhus**. Deine Unterstützung beim Einstallen und wiegen der Mastschweine war Goldwert. Nach getaner Stallarbeit, irgendwo im Osten von Deutschland, wartete ein schönes Feierabendbier auf uns, ich erinnere mich gerne daran zurück.

Barbara Berger, vielen Dank für das intensive und präzise Korrekturlesen der gesamten Arbeit. Mit Deinen konstruktiven Anmerkungen und Diskussionen während dieser Zeit hast Du mir immer weitergeholfen und die Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt.

Vielen Dank an **Dr. Pieter W. Knap**. Du hast mir gezeigt, dass es für jede statistische Herausforderung mehrere Lösungen gibt, - man muss sich nur draufeinlassen.

Für die wertvollen Erfahrungen, sowie für die hoch motivierte und stets freundliche Zusammenarbeit in all den Jahren, in denen wir zusammen am Schlachthof unterwegs waren, danke ich **Herrn Roland Senf**.

I thank you for your support around this trial, **Ángela Bononat**. You gave me the opportunity to understand how many different ways of team work exist. At the end the result is what matters.

Femke und Jonas, vielen Dank für eure Unterstützung beim Einziehen von „gefühlte“ unendlich vielen Ohrmarken, Ferkel wiegen und Körpertemperaturen messen.

Den besten Freunden der Welt, **Jutta, Farina und Svenja** danke ich für Eure Geduld, Euren Zuspruch zu jeder Zeit und die schönen Momente in denen wir einfach mal unsere Freundschaft gepflegt haben. Schön das ihr auch am Ende dieser drei Jahre immer noch da seid!

Danke an **Sandra**, es tat unglaublich gut Dich nach langer Zeit endlich mal wieder getroffen zu haben und sich nach einem langen Arbeitstag im Stall die Pizza schmecken zu lassen.

Karl-Heinz, Dir danke ich für den „Schweinefloh“ den Du mir 2010 ins Ohr gesetzt hast und das grundlegende Interesse rund um die Tierart Schwein. Das nenne ich Motivation.

Für die frische Luft um die Nase, einen freien Kopf für neue Ideen und einfach für's da sein, danke ich **Frieda & Mara** und **Channa & Dikan**.

Der allergrößte Dank gilt **meinen Eltern** und **Jan**, ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

Mama und Papa, Euch danke ich vom ganzen Herzen für Eure große Unterstützung während meiner gesamten Ausbildung, für Eure Geduld und den Glauben an mich. Dafür, dass ich immer zu Euch kommen kann und ihr jederzeit für mich da seid. Die kreativen Pausen, mit helfenden Händen an der frischen Luft auf dem Hof oder im Garten sind Goldwert gewesen. Auch der sehr hilfreiche und schöne Vater-Tochter-Ausflug zum pH-Werte-Messen war eine tolle Erfahrung, an die ich mich gerne erinnere. Danke für die schöne Zeit in diesen drei besonderen Jahren.

Jan, ich bin Dir unendlich dankbar für Deine Unterstützung, das Vertrauen und den Glauben an mich diese Arbeit erfolgreich fertigzustellen. Danke für all Deine Geduld mit mir und Dein Verständnis der wochenendlichen Einsätze, im Stall oder am Schreibtisch. Danke, dass du mir so manches Mal den Rücken freigehalten hast, mich aufgemuntert und motiviert hast. Insbesondere danke ich Dir, dass du immer für mich da bist.

Eidesstattliche Erklärung

1. Hiermit erkläre ich, dass diese Arbeit weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits anderen Prüfungsbehörden vorgelegen hat.

Weiter erkläre ich, dass ich mich an keiner anderen Hochschule um einen Doktorgrad beworben habe.

Göttingen, den _____

(Unterschrift)

2. Hiermit erkläre ich eidesstattlich, dass diese Dissertation selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt wurde.

Göttingen, den _____

(Unterschrift)