Erhebungen zum Vorkommen akzessorischer Schleimbeutel und zur Lungengesundheit von Mastschweinen am Schlachthof - Bedeutung für Tierwohl, Fleischhygiene, Schlachtkörper- und Fleischqualität

von Philippa Constanze Wilhelmina Wagner

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

Erhebungen zum Vorkommen akzessorischer Schleimbeutel und zur Lungengesundheit von Mastschweinen am Schlachthof - Bedeutung für Tierwohl, Fleischhygiene, Schlachtkörper- und Fleischqualität

von
Philippa Constanze Wilhelmina Wagner
aus Bad Windsheim

München 2019

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Lebensmittelsicherheit

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Manfred Gareis
Mitbetreuung durch: Priv.-Doz. Dr. Karin Schwaiger

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.
Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Manfred Gareis
Korreferent:	Univ.-Prof. Dr. Michael H. Erhard

Tag der Promotion: 25. Februar 2019

Meinen Eltern und Michael

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 11

2 Literatur 13

2.1 Tierschutz und Tierwohl 13

2.1.1 Begriffe und Definitionen 13

2.1.1.1 Fünf Freiheiten 13

2.1.1.2 Tierschutz 14

2.1.1.3 Tierwohl 14

2.1.2 Methoden der Bewertung 14

2.1.3 Rechtliche Vorgaben 16

2.1.3.1 Grundgesetz 16

2.1.3.2 Tierschutzgesetz 17

2.1.3.3 Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung 17

2.2 Schweinemast 18

2.2.1 Haltung 18

2.2.1.1 Tierzahlen 18

2.2.1.2 Betriebsstrukturen 19

2.2.1.3 Haltungssysteme 20

2.2.2 Fleischproduktion und Fleischverzehr 21

2.2.2.1 Schlachtmengen 21

2.2.2.2 Verbrauch 21

2.2.2.3 Handel 22

2.2.3 Gesellschaftliche Akzeptanz 22

2.2.4 Konsequenzen 23

2.3 Tiergesundheitsparameter 27

2.3.1 Akzessorische Schleimbeutel 27

2.3.1.1 Lokalisation 27

2.3.1.2 Mikrobiologie 28

2.3.1.3 Histologie 29

2.3.1.4 Begünstigende Faktoren 30

2.3.1.5 Prävalenz 32

2.3.1.6 Bedeutung 33

2.3.2 Lungen 34

2.3.2.1 Lungenerkrankungen 34

2.3.2.2 Nichtinfektiöse Einflussfaktoren auf die Lungengesundheit 38
2.3.2.3 Befunderhebung am Schlachthof....39
2.3.2.3.1 Rechtliche Vorgaben....39
2.3.2.3.2 Möglichkeiten der Beurteilung....40
2.3.2.3.3 Prävalenz....42
2.3.2.3.4 Bedeutung....43
2.3.3 Stress- und Entzündungsmarker 44
2.3.3.1 Akute Phase Reaktion....45
2.3.3.2 C-reaktives Protein....46
2.4 Schlachtkörper- und Fleischqualität....47
2.4.1 Möglichkeiten der Beurteilung....48
2.4.1.1 Schlachtgewicht....48
2.4.1.2 Muskelfleischanteil 48
2.4.1.3 pH-Wert....49
2.4.1.4 Elektrische Leitfähigkeit....50
2.4.2 Qualitätsabweichungen....51
2.4.2.1 PSE-Fleisch....51
2.4.2.2 DFD-Fleisch 52
2.4.3 Einflussfaktoren....52
2.4.3.1 Genetik....53
2.4.3.2 Haltung....54
2.4.3.3 Gesundheit 54
2.4.3.4 Nahrungsentzug vor der Schlachtung 55
2.4.3.5 Transport....55
2.4.3.6 Wartezeit am Schlachthof 56
2.4.3.7 Schlachtbedingungen....56
3 Material und Methoden....59
3.1 Tiere und Projektaufbau 59
3.2 Material 61
3.2.1 Befunderhebung und Probenahme am Schlachthof 61
3.2.2 Mikrobiologie 61
3.2.3 Molekularbiologie....63
3.2.4 Histopathologie 64
3.2.5 Serologie 64
3.3 Methoden 65
3.3.1 Befunderhebung und Probenahme am Schlachthof 65
3.3.1.1 Akzessorische Schleimbeutel....65

3.3.1.2 Lungen ... 66
3.3.1.3 Blut ... 67
3.3.1.4 Schlachtkörper- und Fleischqualität ... 67
3.3.2 Mikrobiologie ... 67
3.3.2.1 Anzucht ... 67
3.3.2.1.1 Akzessorische Schleimbeutel ... 67
3.3.2.1.2 Lungen ... 68
3.3.2.2 Identifizierung ... 68
3.3.3 Molekularbiologie ... 71
3.3.3.1 DNA-Extraktion ... 71
3.3.3.1.1 Akzessorische Schleimbeutel ... 71
3.3.3.1.2 Lungen ... 73
3.3.3.2 Polymerasekettenreaktion (PCR) ... 73
3.3.4 Histopathologie ... 75
3.3.5 Serologie ... 75
3.3.6 Datenanalyse ... 77

4 Ergebnisse ... 79

4.1 Befunderhebung am Schlachthof ... 79

4.1.1 Akzessorische Schleimbeutel ... 79
4.1.2 Pathologische Lungenveränderungen ... 80
4.1.2.1 Prävalenz ... 80
4.1.2.2 Lungenbefundkategorie versus Bursagrad ... 82
4.1.3 Schlachtkörper- und Fleischqualität ... 84
4.1.3.1 Schlachtgewicht ... 84
4.1.3.1.1 Schlachtgewicht versus Bursagrad ... 84
4.1.3.1.2 Schlachtgewicht versus Lungenbefundkategorie ... 86
4.1.3.2 Muskelfleischanteil ... 86
4.1.3.2.1 Muskelfleischanteil versus Bursagrad ... 86
4.1.3.2.2 Muskelfleischanteil versus Lungenbefundkategorie ... 87
4.1.3.3 pH_{45}-Werte ... 87
4.1.3.3.1 pH_{45} versus Bursagrad ... 88
4.1.3.3.2 pH_{45} versus Lungenbefundkategorie ... 88
4.1.3.4 pH_{24}-Werte ... 89
4.1.3.4.1 pH_{24} versus Bursagrad ... 90
4.1.3.4.2 pH_{24} versus Lungenbefundkategorie ... 90
4.1.3.5 Elektrische Leitfähigkeit ... 90
4.1.3.5.1 Elektrische Leitfähigkeit versus Bursagrad ... 90
4.1.3.5.2 Elektrische Leitfähigkeit versus Lungenbefundkategorie ... 91

4.2 Mikrobiologie 92
4.2.1 Akzessorische Schleimbeutel 92
4.2.2 Lungen 97
4.2.2.1 Mikrobiologie versus Lungenbefundkategorie 100
4.2.2.2 Mikrobiologie Lungen versus Mikrobiologie Bursen 101
4.3 Molekularbiologie 103
4.3.1 Akzessorische Schleimbeutel 103
4.3.1.1 Prävalenz von Mykoplasmen 103
4.3.1.2 Prävalenz versus Bursagrad 103
4.3.2 Lungen 104
4.4 Makroskopische Befunde 104
4.5 Histopathologie 106
4.5.1 Prävalenzen der Entzündungstypen 106
4.5.3 Erscheinungsbild 107
4.5.4 Entzündungstyp versus Bursagrad 111
4.5.5 Entzündungstyp versus Mikrobiologie 111
4.5.6 Entzündungstyp versus Mykoplasmenprävalenz 114
4.6 Serologie 115
4.6.1 CRP-Konzentration 115
4.6.2 CRP-Konzentration versus Bursagrad 115
4.6.3 CRP-Konzentration versus Mikrobiologie der Bursen 117
4.6.4 CRP-Konzentration versus Mykoplasmenprävalenz 118
4.6.5 CRP-Konzentration versus Entzündungstyp 118
4.6.6 CRP-Konzentration versus Lungenbefundkategorie 119
4.6.7 CRP-Konzentration versus Mikrobiologie der Lungen 119
5 Diskussion 121
6 Schlussfolgerungen 139
7 Zusammenfassung 143
8 Summary 145
9 Literaturverzeichnis 147
10 Abbildungsverzeichnis 175
11 Tabellenverzeichnis 177
12 Danksagung 181

Abkürzungsverzeichnis

APP	*Actinobacillus pleuropneumoniae*
APPs	Akute Phase Proteine
APR	Akute Phase Reaktion
AVV LmH	Allgemeine Verwaltungsvorschrift Lebensmittelhygiene
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
ca.	circa
cm	Zentimeter
CO_2	Kohlendioxid
CRP	C-reaktives Protein
DE	Deutsches Edelschwein
DFD	darf, firm, dry (Qualitätsabweichung von Fleisch)
DL	Deutsche Landrasse
DNA	deoxyribonucleic acid (Desoxyribonukleinsäure)
ELISA	enzyme linked immunosorbent assay
EP	Enzootische Pneumonie
EU	Europäische Union
g	Gramm
x g	Vielfaches der Erdbeschleunigung
h	Stunde
HCCA	α-Cyano-4-Hydroxy-Zimtsäure
HE	Hämatoxylin-Eosin
HPS	*Haemophilus parasuis*
IC	interne Kontrolle
i.d.R.	in der Regel
KbE	Koloniebildende Einheit
kg	Kilogramm
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LPA	Leistungsprüfanstalt
M.	Musculus
m^2	Quadratmeter
MALDI-TOF MS	matrix assisted laser desorption/ ionization time of flight mass spectrometry
MFA	Muskelfleischanteil
mg	Milligramm
µg	Mikrogramm
Mhyo	*Mycoplasma hyopneumoniae*
Mhr	*Mycoplasma hyorhinis*
Mhs	*Mycoplasma hyosynoviae*

MHS	Malignes Hyperthermie Syndrom
min	Minute
mind.	mindestens
Mio.	Millionen
ml	Milliliter
µl	Mikroliter
mS	Millisiemens
N/A	not available (nicht auswertbar)
neg.	negativ
O_2	Sauerstoff
Nr.	Nummer
PBS	phosphate buffered saline (phosphatgepufferte Salzlösung)
PCR	polymerase chain reaction (Polymerasekettenreaktion)
PCV2	Porcines Circovirus Typ 2
PDNS	Porcines Dermatitis und Nephropathie Syndrom
pH	pH-Wert (abgeleitet von potentia hydrogenii)
pH_{45}	45 Minuten nach dem Tod gemessener pH-Wert
pH_{24}	24 Stunden nach dem Tod gemessener pH-Wert
PI	Piétrain
PMWS	postweaning multisystemic wasting syndrome
PRDC	porcine respiratory disease complex
PRRSV	Porcines Reproduktives und Respiratorisches Syndrom Virus
pos.	positiv
PSE	pale, soft, exsudative (Qualitätsabweichung von Fleisch)
QS	Qualität und Sicherheit GmbH
rpm	rounds per minute (Umdrehungen pro Minute)
RNA	ribonucleic acid (Ribonukleinsäure)
s	Sekunde
sp.	Spezies (sing.)
spp.	Spezies (plur.)
SchwHKlV	Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung
t	Tonne
TGD	Tiergesundheitsdienst
TierSchNutztV	Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung
TMB	3,3´,5,5´-Tetramethylbenzidin
TierSchG	Tierschutzgesetz
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Die Schweinemast stellt in Deutschland einen wichtigen Wirtschaftszweig dar. Mittlerweile ist Deutschland der größte Schweinefleischexporteur weltweit (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2017d; Deblitz und Efken, 2017; Verband der Fleischwirtschaft e. V., 2016). Jeder Deutsche konsumiert etwa 36 kg Schweinefleisch im Jahr (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2017b).

Die Schlachtzahlen erreichten im Jahr 2016 den bisherigen Spitzenwert von 59,4 Millionen geschlachteten Schweinen (Destatis, 2018b). Ein Großteil der geschlachteten Schweine wurde zuvor konventionell in großen Mastanlagen auf Spaltenböden gehalten, obwohl dies gravierende Probleme hinsichtlich der Tiergesundheit und des Tierschutzes mit sich bringt (Blaha und Richter, 2014).

Seit langem ist bekannt, dass Schweine, die auf Teil- oder Vollspaltenböden gemästet wurden, deutlich häufiger Technopathien der Gliedmaßen aufweisen als Schweine aus anderen Haltungssystemen (Berner et al., 1990; Gareis et al., 2016; Gillman et al., 2008; Mouttotou et al., 1998b; Papsthard, 1989; Probst, 1989; Temple et al., 2012). Zusätzlich wirken sich die hohe Belegdichte, ein schlechtes Stallklima und der hohe Erregerdruck in der intensiven Schweinehaltung negativ auf die Lungengesundheit aus (Brockmeier et al., 2002; Pointon et al., 1985; Reiner, 2015; Schuh, 2001).

Diese Problematik rückt auch bei den Verbrauchern zunehmend in das Zentrum des Bewusstseins. Die Akzeptanz der intensiven Massentierhaltung sinkt, während die Forderungen nach Fleisch aus tiergerechter Haltung intensiver werden (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim BMEL, 2015).

Am Schlachtband erfasste Befunde eignen sich gut, um die Tiergesundheit und das Tierwohl in einem Betrieb retrospektiv zu beurteilen (Blaha und Blaha, 1995; Mählmann, 1996). Aus diesem Grund sollten in der vorliegenden Studie am Schlachtband die zuvor von Gareis et al. (2016) beschriebenen hohen Prävalenzen von akzessorischen Schleimbeuteln (Bursae auxiliares) überprüft und die Lungengesundheit von Mastschweinen untersucht werden. Zudem war es Ziel der Untersuchungen, den Einfluss von Hilfsschleimbeuteln und pathologischen Lungenveränderungen auf das Tierwohl und mögliche Konsequenzen für Fleischhygiene, Schlachtkörper- und Fleischqualität abzuschätzen.

2 Literatur

2.1 Tierschutz und Tierwohl

Tierschutz und das Tierwohl betreffende Themen haben in den letzten Jahren deutlich an gesellschaftlicher, politischer und medialer Bedeutung gewonnen (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2011; Busch und Kunzmann, 2004; Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim BMEL, 2015). Für viele Verbraucher ist das Tierwohl mittlerweile ein wichtiger Aspekt, der zur Qualität tierischer Produkte beiträgt (Breßler et al., 2013). Jedoch ist das Wohlbefinden von Tieren nicht direkt messbar, weswegen auf Bewertungssysteme zurückgegriffen werden muss, die helfen sollen, die Tiergerechtheit und das Tierwohl zu beurteilen (Blokhuis et al., 2003).

2.1.1 Begriffe und Definitionen

2.1.1.1 Fünf Freiheiten

Das Konzept der „Fünf Freiheiten“ beruht auf dem 1965 von der britischen Regierung veröffentlichten „report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under Intensive livestock husbandry systems“, auch als „Brambell Report“ bekannt. Dort werden fünf Rechte beschrieben, die Nutztieren zustehen sollten. Sie umfassen die Möglichkeit aufzustehen, sich hinzulegen, sich zu drehen, sich selbst zu pflegen und die Gliedmaßen ausstrecken zu können (Brambell, 1965).

Diese fünf allgemeinen Forderungen wurden vom Farm Animal Welfare Council (1979) aufgegriffen, konkretisiert und damit das mittlerweile weltweit bekannte Konzept der „Fünf Freiheiten“ definiert, das heute oft als Grundlage für die Beurteilung von Tiergerechtigkeit und Tierwohl in der Tierhaltung dient (Bergschmidt, 2017; Farm Animal Welfare Council, 1979). Tabelle 1 zeigt diese für das Wohlbefinden notwendigen fünf Freiheiten und die Maßnahmen, durch die sie zu erreichen sind.

Tabelle 1: Die „Fünf Freiheiten“ und dafür erforderliche Maßnahmen nach Farm Animal Welfare Council (1979)

Freiheit	Maßnahme
Freiheit von Hunger und Durst	Zugang zu frischem Trinkwasser und gesunder Nahrung
Freiheit von Unbehagen	Bereitstellung einer geeigneten Umgebung mit Schutz- und bequemen Ruhezonen
Freiheit von Schmerzen, Verletzungen oder Krankheiten	Präventionsmaßnahmen, schnelle Diagnose und Behandlung
Freiheit, artgemäßes Verhalten auszuüben	Bereitstellung von ausreichend Platz, angemessener Einrichtung und Kontakt zu Artgenossen
Freiheit von Angst und Bedrängnis	Haltungsbedingungen und Umgang, die psychisches Leid vermeiden

2.1.1.2 Tierschutz

Tierschutz meint „alle Aktivitäten, die darauf ausgerichtet sind, Leben und Wohlbefinden von Tieren zu schützen, sie vor der Zufügung von Schmerzen, Leiden und Angst oder vor Schäden zu bewahren und ihnen, wenn sie sich in der Obhut des Menschen befinden, ein artgerechtes Leben zu ermöglichen sowie einen schmerzlosen Tod zu bereiten“ (Bundeszentrale für politische Bildung, 2015).

2.1.1.3 Tierwohl

Die Begriffe „Tierschutz“ und „Tierwohl“ werden häufig gleichbedeutend verwendet, sie benennen aber eigentlich zwei unterschiedliche Ziele (Reymann, 2016): Tierwohl ist das angestrebte Ergebnis des Tierschutzes (Reymann, 2016). Es ist mit den Begriffen „Wohlergehen“ und „Wohlbefinden“ vergleichbar (Broom und Fraser, 2007). Laut Hoy (2016) ist es zudem weitestgehend mit dem englischen „animal welfare“, also der Tiergerechtheit gleich zu setzen. Es hat die Tiergesundheit, ein artgemäßes Verhalten und das Wohlbefinden der Tiere zum Ziel, wobei Wohlbefinden mehr als nur die Abwesenheit von Schmerzen, Leiden und Schäden ist. Lorz und Metzger (2008) definieren Wohlbefinden als „Zustand körperlicher und seelischer Harmonie des Tieres in sich und mit der Umwelt“.

2.1.2 Methoden der Bewertung

Im Laufe der Zeit entwickelten sich verschiedene Bewertungssysteme, die die Beurteilung des Tierwohls und der Tiergerechtheit ermöglichen sollten. Allen Bewertungsmethoden können die bereits vorher angesprochenen „Fünf Freiheiten“ übergeordnet werden, da sie die Inhalte der meisten Beurteilungskonzepte zusammenfassen (Pflanz, 2007).

Die ersten entwickelten Systeme nutzten vorwiegend umweltbezogene Faktoren wie die Bodenbeschaffenheit, das Platzangebot, die Verfügbarkeit von frischem Trinkwasser oder das Management (Meyer-Hamme, 2015).

Bartussek (1995) entwickelte den Tiergerechtheitsindex 35 für Mastschweine und andere Nutztiere, der die Tiergerechtheit in den fünf umweltbezogenen Bereichen „Bewegungsmöglichkeit“, „Sozialkontakt“, „Bodenbeschaffenheit“, „Stallklima“ und „Betreuung“ anhand eines Punktesystems bewertet. Dieser Index wurde mehrfach weiterentwickelt und findet auch heute noch Anwendung (Meyer-Hamme, 2015).

Auch das Konzept der „Kritischen Kontrollpunkte“ (CCP), welches von der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde erarbeitet wurde, greift umweltbezogene Faktoren zur Bewertung des Tierwohles auf (Hoy et al., 2004). Neben den stallbaulichen Aspekten wird hier auch besonderes Augenmerk auf Faktoren des Managements wie Ferkelherkunft, Belegungsverfahren, Transportbedingungen, Entwurmung und Impfung gelegt.

Andere Systeme beinhalten vermehrt direkt tierbezogene Indikatoren, da diese zwar aufwändiger zu erfassen, für eine umfassende Bewertung des Tierwohls und der Tiergesundheit aber zwingend notwendig sind (Blokhuis et al., 2003; Knierim, 2002; Sundrum, 1998). Als Beispiel soll hier auf das international verbreitete Welfare Quality® Protokoll eingegangen werden.

Beim Welfare Quality® Protokoll handelt es sich um ein System zur Beurteilung von Tierwohl und Tiergerechtheit in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, das in einer gemeinsamen Forschungsarbeit von 40 Instituten in 13 europäischen Ländern entstand. Es wurde 2009 abgeschlossen und findet seither Anwendung in zahlreichen Ländern (Welfare Quality®, 2009).

Das Bewertungssystem basiert im Gegensatz zu anderen Systemen vorwiegend auf direkten und indirekten tierorientierten Indikatoren. Faktoren wie das Management oder spezielle Haltungsbedingungen fließen zwar in die Bewertung mit ein, sind allerdings weniger bedeutend (Meyer-Hamme, 2015; Welfare Quality®, 2009). Zur Beurteilung des Tierwohls werden vier Grundprinzipien festgelegt: gute Fütterung, gute Haltung, gute Gesundheit und artgemäßes Verhalten. Diesen Grundprinzipien werden insgesamt zwölf Kriterien zugeordnet, die die Prinzipien konkretisieren. Die Einhaltung dieser Kriterien wird anhand zahlreicher Indikatoren wie dem Auftreten von Bursitiden, dem Verschmutzungsgrad der Tiere oder Lahmheiten überprüft und anhand einer Punkteskala bewertet (Breßler et al., 2013; Welfare Quality®, 2009). Die einzelnen Indikatoren sind Tabelle 2 zu entnehmen. Sie werden anhand ihrer Bedeutung für das Tierwohl unterschiedlich gewichtet. Nach der Beurteilung und der Vergabe von Punkten für jede Kategorie werden die bewerteten Betriebe klassifiziert und letztendlich als „ausgezeichnet“, „verbessert“, „akzeptabel“ oder „nicht klassifiziert“ beurteilt (Welfare Quality®, 2009).

Tabelle 2: Beurteilungskriterien zur Bewertung der Tiergerechtheit und des Tierwohls bei Mastschweinen nach Welfare Quality® (2009)

Grundprinzipien	Kriterien	Indikatoren
Gute Fütterung	Kein anhaltender Hunger	Body Condition Score
	Kein anhaltender Durst	Wasserverfügbarkeit
Gute Haltung	Liegekomfort	Bursitis, Kotverschmutzung
	Thermischer Komfort	Zittern, Hecheln, Haufenbildung
	Bewegungsfreiheit	Platzangebot
Gute Gesundheit	Keine Verletzungen	Lahmheit, Wunden, Schwanz-beißen
	Keine Krankheiten	Husten, Niesen, abdominale Atmung, deformierte Schnauze, Mastdarmvorfall, Durchfall, Hernien, Hautveränderungen und Rupturen
	Keine Schmerzen durch Managementmaßnahmen	Kastration, Kupieren von Schwänzen
Artgemäßes Verhalten	Ausdruck von Sozial-verhalten	Sozialverhalten
	Ausdruck von weiterem Normalverhalten	Erkundungsverhalten
	Gute Mensch-Tier-Beziehung	Angst vor Menschen
	Positiver emotionaler Gemütszustand	Qualitative Verhaltensbeobachtung

2.1.3 Rechtliche Vorgaben

Der Tierschutz wird in Deutschland sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene rechtlich geregelt. Dabei entwickelte sich das Verständnis von Tierschutz im Laufe der Zeit von einem „anthropozentrischen“ zu einem „ethischen“ Tierschutz, also von einem Tierschutz, bei dem das Interesse der Menschen im Mittelpunkt steht, zu einem Tierschutz, der Tiere um ihrer selbst willen schützt und das Töten von Tieren verbietet, solange kein gerechtfertigter Grund besteht (Luy, 2005).

2.1.3.1 Grundgesetz

Seit 1. August 2002 ist der Tierschutz im Grundgesetz als Staatsziel verankert. In Artikel 20a des Grundgesetzes steht seither: „Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen und die Tiere im Rahmen der verfassungsgemäßen Ordnung durch die Gesetzgebung und nach Maßgabe von Gesetz und Recht durch die vollziehende Gewalt und die Rechtsprechung“ (Anonymous, 1949).

Damit wurden die Staatsgewalten verpflichtet, dem Tierschutz eine höhere Bedeutung im deutschen Rechts- und Wertesystem zu zuordnen. Tierschutz hat durch seinen Status als Staatsziel nun auch mehr Gewicht gegenüber menschlichen Grundrechten wie Religionsfreiheit, Berufsfreiheit oder der Freiheit von

Forschung, welche vorher stets bedingungslosen Vorrang vor dem Tierschutz hatten (Deutscher Tierschutzbund e.V., 2017a).

2.1.3.2 Tierschutzgesetz

Das Tierschutzgesetzt (TierSchG) legt in § 1 fest, dass der Mensch das Leben und Wohlbefinden der Tiere, welche als Mitgeschöpfe definiert werden, schützen muss und dass keinem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zugefügt werden dürfen.
Weiterhin fordert § 2, dass wer ein Tier hält, betreut oder es zu betreuen hat, es gemäß seiner Art und seiner Bedürfnisse angemessen ernähren, pflegen und verhaltensgerecht unterbringen muss. Die artgemäße Bewegungsfreiheit darf nicht so weit eingeschränkt werden, dass Schmerzen, Leiden oder Schäden entstehen. In seinen insgesamt zwölf Abschnitten beinhaltet das TierSchG außerdem Anforderungen an das Töten von Tieren, mögliche Eingriffe, Tierversuche, Zucht, Haltung und Handel von Tieren (Anonymous, 1972).

2.1.3.3 Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung

Die „Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung“, kurz als Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutztV) bezeichnet, dient der Umsetzung folgender europäischer Richtlinien:

- Richtlinie 98/58/EG des Rates vom 20. Juli 1998 über den Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere
- Richtlinie 91/629/EWG des Rates vom 19. November 1991 über Mindestanforderungen für den Schutz von Kälbern
- Richtlinie 1999/74/EG des Rates vom 19. Juli 1999 zur Festlegung von Mindestanforderungen zum Schutz von Legehennen
- Richtlinie 91/630/EWG des Rates vom 19. November 1991 über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen
- Richtlinie 2007/43/EG des Rates vom 28. Juni 2007 mit Mindestvorschriften zum Schutz von Masthühnern

In Abschnitt 1 der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung finden sich allgemeine Anforderungen an Haltungseinrichtungen, Überwachung, Fütterung und Pflege von landwirtschaftlichen Nutztieren. Abschnitt 5 beschäftigt sich speziell mit der Haltung von Schweinen. Dort werden folgende Anforderungen an die Schweinehaltung gestellt: Schweine müssen Sichtkontakt zu Artgenossen haben, sie müssen gleichzeitig ungehindert liegen können, eine natürliche Körperhaltung einnehmen können, nicht mehr als nötig mit Exkrementen in Kontakt kommen, einen trockenen Liegebereich zur Verfügung haben und es muss eine Möglichkeit geben,

die die Wärmebelastung der Tiere bei warmen Temperaturen vermindert. Weiterhin wird in § 22 die Bodenbeschaffenheit im Treibgang und im Stall, der Lichteinfall und die Beschaffenheit des Liegebereiches geregelt.
Der ständige Zugang zu beweglichem und veränderbarem Beschäftigungsmaterial in ausreichender Menge und der freie Zugang zu Wasser sowie Angaben zur Qualifikation des betreuenden Personals, Anforderungen an die Beleuchtung und das Stallklima finden sich in § 26. Bei Zuchtläufern und Mastschweinen ist zudem eine Gruppenhaltung vorgeschrieben, bei der jedem Schwein abhängig vom Körpergewicht eine definierte nutzbare Bodenfläche zur Verfügung steht (Anonymous, 2001).

2.2 Schweinemast

2.2.1 Haltung

Die Schweinemast in Deutschland befindet sich im Wandel. Die Bestandsgrößen in den Mastställen werden immer größer, es wird zunehmend Schweinefleisch produziert und dennoch geht die Zahl der schweinehaltenden Betriebe zurück (Kwasniewski, 2016).

2.2.1.1 Tierzahlen

In Deutschland werden derzeit 27,2 Millionen Schweine gehalten, 11,9 Millionen davon sind Mastschweine, der Rest setzt sich aus Ferkeln und Jungschweinen unter 50 kg und aus Zuchttieren zusammen (Destatis, 2017). Im Jahr 1996 waren es noch rund 9,3 Millionen Mastschweine. Der Bestand nahm damit in den letzten 20 Jahren um etwa 20 % zu, was in Abbildung 1 zu erkennen ist.

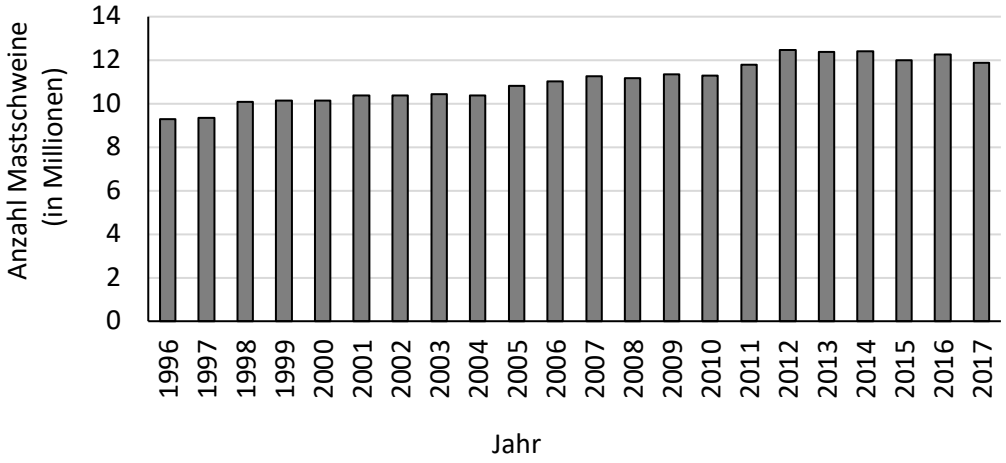


Abbildung 1: Entwicklung der Mastschweinebestände in Deutschland, Zahlen nach Destatis (2018b)

Ein großer Teil dieser Masttiere stammt allerdings nicht mehr aus Erzeugerställen in Deutschland, sondern wird aus Dänemark oder den Niederlanden im Ferkelalter nach Deutschland verbracht, um hier gemästet zu werden. Im Jahr 2015 stammten etwa 20 % der Ferkel aus dem benachbarten Ausland (Deblitz und Efken, 2017).
Betrachtet man die regionale Verteilung der Mastbetriebe, so liegen mehr Betriebe in den alten als in den neuen Bundesländern. Die größte Schweinedichte findet sich im Nordwesten Deutschlands, vor allem in den Landkreisen Vechta und Cloppenburg, aber auch in einzelnen Teilen Bayerns und Baden-Württembergs, wo auf 100 Hektar Land 300 oder mehr Schweine kommen (Fiene et al., 2013).

2.2.1.2 Betriebsstrukturen

Der zunehmende gesellschaftliche und politische Druck für mehr Tierwohl in der Schweinehaltung, starker Wettbewerb auf dem Weltmarkt, steigende Kosten bei gleichbleibenden oder gesunkenen Erlösen und eine zunehmend verschärfte Rechtslage in den Bereichen Stallbau, Seuchenschutz und Immissionsschutz haben zu einem Strukturwandel in der deutschen Schweinehaltung geführt.
Die Zahl der schweinehaltenden Betriebe sinkt seit Jahren deutlich, während die Anzahl der Tiere pro Betrieb in den verbliebenen Haltungen zunimmt (Fiene et al., 2013; Reichert, 2016; Spandau, 2016). Im Jahr 1996 wurden 205.548 schweinehaltende Betriebe statistisch erfasst, 2017 waren es noch 23.800.
Betrachtet man die Betriebszahlen der letzten 20 Jahre, so gibt es heute fast 90 % weniger Schweinehalter, aber eine immer höhere Schweinedichte in den einzelnen Betrieben. Mit Beginn der Erfassung 1999 lag die mittlere Anzahl gehaltener Schweine pro Betrieb bei 185 Tieren. Mittlerweile liegt der Durchschnitt bei 1.142 Schweinen.
Diese Entwicklung zeigt Abbildung 2, wobei man beachten muss, dass der zeitliche Vergleich aufgrund der Anhebung der unteren Erfassungsgrenze in den Jahren 1999 und 2010 bei Viehbestandserhebungen durch das Statistische Bundesamt nicht uneingeschränkt möglich ist (Destatis, 2018b).
Vor allem in den neuen Bundesländern werden hohe Tierzahlen pro Betrieb erreicht. Hier hält ein durchschnittlicher Schweinemäster 1.500 Mastschweine, während es in den alten Bundesländern 522 Tiere sind (Destatis, 2017). Siebzig Prozent aller Mastschweine werden in Betrieben mit mehr als 1.000 Mastplätzen gehalten. Diese machen 36 % aller deutschen Mastbetriebe aus. Elf Prozent der Mastbetriebe haben mehr als 2.000 Mastschweine (Spandau, 2016).
Die Entwicklung der schweinehaltenden Betriebe ist regional betrachtet jedoch sehr unterschiedlich. Die Betriebsanzahl nimmt zwar in weiten Teilen Deutschlands kontinuierlich ab, gleichzeitig werden aber vor allem in den schweinedichten Regionen Nordrhein-Westfalens und Niedersachsens neue Großanlagen gebaut (Wenz, 2016).

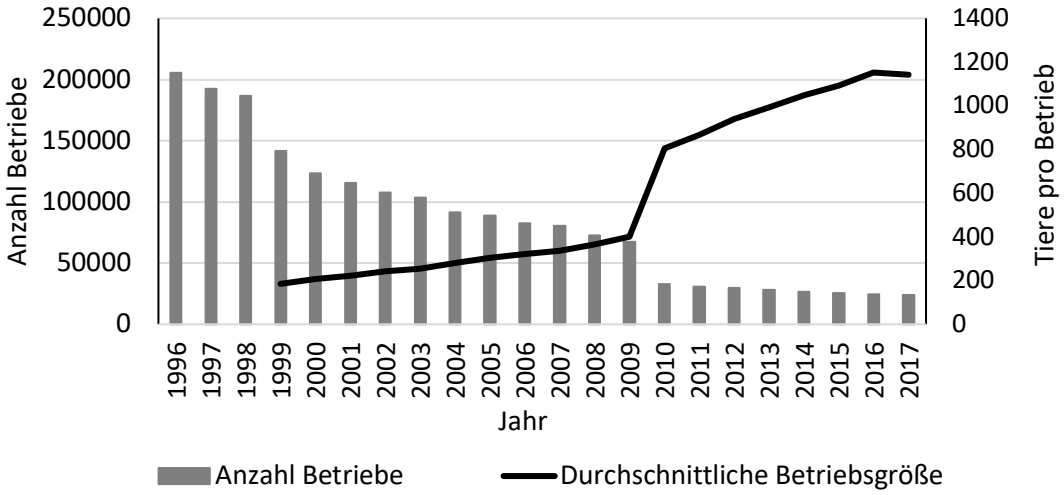
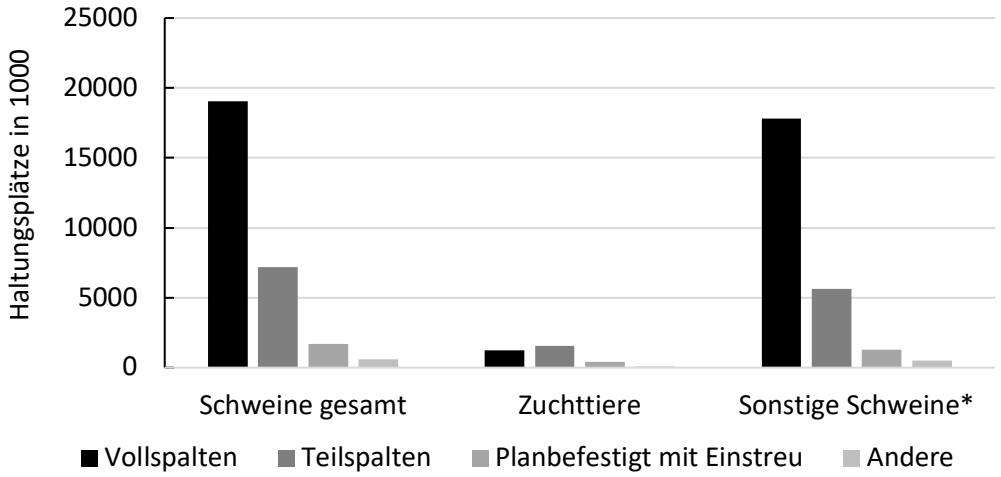


Abbildung 2: Strukturwandel der Schweinehaltung in Deutschland, Zahlen nach Destatis (2018b)

2.2.1.3 Haltungssysteme

Wie viele Tiere in welchen Haltungssystemen leben, wird von der Landwirtschaftszählung des Statistischen Bundesamtes erfasst, welche alle zehn Jahre durchgeführt wird. Bei der letzten Zählung 2010 machten Haltungssysteme mit Voll- oder Teilspaltenböden den größten Teil der Stallplätze aus. Etwa 93 % der Jung- und Mastschweine werden in solchen Ställen gehalten (siehe Abbildung 3). Von 65.200 gezählten Betrieben hielten insgesamt 1.800 Betriebe ihre Schweine in Freilandhaltung. Der Anteil an Stallplätzen in der Freilandhaltung war jedoch so niedrig, dass er in der Grafik nicht ersichtlich ist (Destatis, 2010).



*Sonstige Schweine: Aufzuchtferkel, Jungschweine, Mastschweine und ausgemerzte Zuchttiere

Abbildung 3: Haltungsplätze für Schweine nach Haltungsverfahren, Zahlen nach Destatis (2010)

2.2.2 Fleischproduktion und Fleischverzehr

2.2.2.1 Schlachtmengen

Trotz der abnehmenden Betriebszahlen stieg die Produktion von Schweinefleisch in den letzten zwanzig Jahren um fast die Hälfte an (Reichert, 2016). Abbildung 4 zeigt deutlich den Anstieg der geschlachteten Tiere und des produzierten Schweinefleisches (Schlachtmengen). Im Jahr 1996 wurden 38,7 Millionen Schweine gewerblich in Deutschland geschlachtet und damit 3,5 Millionen Tonnen Schweinefleisch produziert, im Jahr 2016 waren es 59,4 Millionen Schweine und 5,6 Millionen Tonnen Fleisch.

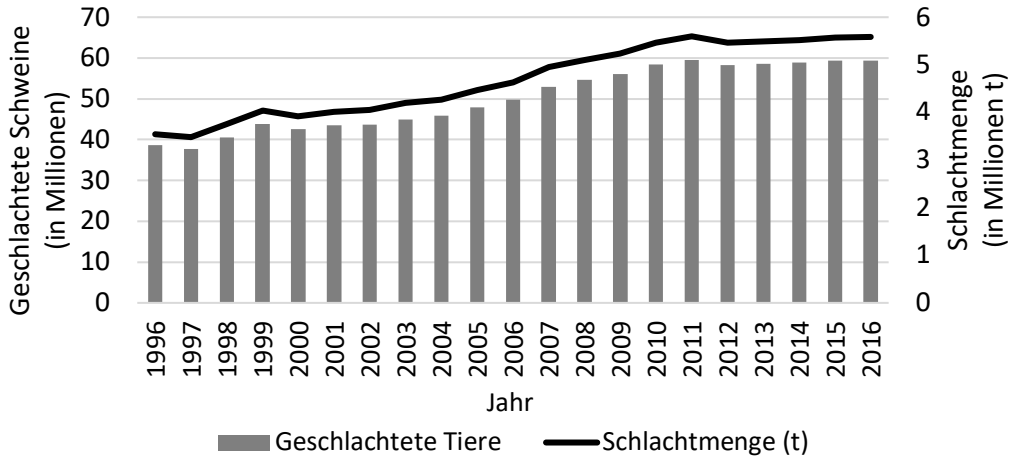


Abbildung 4: Entwicklung der Schweinefleischproduktion in Deutschland, Zahlen nach Destatis (2018b)

2.2.2.2 Verbrauch

Die deutsche Produktion von Schweinefleisch nimmt seit Jahren zu, der Fleischverbrauch sinkt dagegen seit 2010 (Deblitz und Efken, 2017; Reichert, 2016). Aus diesem Grund stieg der Selbstversorgungsgrad Deutschlands, das vor zwanzig Jahren noch mehr Schweinefleisch importierte als exportierte, laut Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2017a) von rund 77 % im Jahr 1996 auf 121 % (Stand 2016) an.

Der deutsche Verbraucher konsumierte im Jahr 2017 durchschnittlich 60 kg Fleisch, wobei Schweinefleisch mit 36 kg den größten Teil (60 %) davon ausmachte (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2018). Der jährliche Pro-Kopf-

Verzehr ging in den letzten 20 Jahren um 8 kg zurück (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2017b). Im Vergleich ist er jedoch doppelt so hoch wie der weltweite Durchschnitt (Eckinger, 2016).

2.2.2.3 Handel

Während der Import von Schweinefleisch nach Deutschland seit Jahren auf einem Niveau von etwa 1,1 Millionen Tonnen liegt, steigt die Menge an exportiertem Fleisch zunehmend an. Deutschland ist mittlerweile der größte Schweinefleisch-exporteur weltweit (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2017d; Deblitz und Efken, 2017; Verband der Fleischwirtschaft e. V., 2016).
Der Anteil an Schweinefleisch, das exportiert wird, lag in Bezug auf die jährliche Schlachtmenge 2015 bei über 40 %. Es wird mittlerweile also fast die Hälfte des produzierten Schweinefleisches in das Ausland verkauft. Der Großteil davon geht in die Europäische Union (EU), vor allem nach Italien, das derzeit etwa 12 Prozent des gesamten Exportvolumens abnimmt. Aber auch in die Niederlande, nach Polen, Großbritannien, Dänemark und zahlreiche weitere Länder wird deutsches Schweinefleisch verkauft. Außerhalb der EU wird in zunehmendem Maße nach China exportiert, das mittlerweile nach Italien das meiste Fleisch aus Deutschland abnimmt (Deblitz und Efken, 2017; Krenn, 2016).

2.2.3 Gesellschaftliche Akzeptanz

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung, besonders die Haltungsbedingungen von Schweinen, werden von der Gesellschaft zunehmend kritisch hinterfragt (von Alvensleben, 2002). Die deutschen Verbraucher sollen im Vergleich mit anderen europäischen Ländern besonders tierschutzbewusst sein (Schulze et al., 2008).
Im Mittelpunkt der Kritik stehen meist das geringe Platzangebot, die Art der Haltung und Fütterung, bestimmte Zuchtmerkmale, nicht kurative Eingriffe und die Verwendung von Antibiotika (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2017c). In Studien, die den Ruf der Landwirtschaft innerhalb der Gesellschaft untersuchten, wurde landwirtschaftliche Nutztierhaltung zudem häufig mit dem negativ behafteten Begriff der Massentierhaltung in Zusammenhang gebracht (Sies und Mahlau, 1997).
Vor allem in deutschen Großstädten wird aus Gründen des Tierschutzes und Umweltbewusstseins zunehmend auf Fleisch verzichtet. Der Prozentsatz an Menschen, die sich vegan oder vegetarisch ernähren, steigt kontinuierlich (Pohl und Urhahn, 2016). Das Marktforschungsinstitut SKOPOS zählt im Jahr 2016 bereits 1,3 Millionen sogenannte Veganer, also Menschen, die bei ihrer Ernährung auf tierische Produkte verzichten (SKOPOS market research, 2016). Im Jahr 2008 gab es der nationalen Verzehrsstudie II zufolge 80.000 vegan lebende Deutsche

(Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und Max-Rubner-Institut, 2008).

Laut verschiedener Umfragen sind zudem viele Menschen bereit, mehr Geld für Nahrungsmittel von Tieren aus artgerechter Haltung auszugeben (Pohl und Urhahn, 2016; von Alvensleben, 2002). Sie wollen wissen, woher das verzehrte Fleisch stammt und wie die Tiere gehalten wurden. Der Umsatz mit Produkten aus biologischer und regionaler Haltung steigt aus diesem Grunde kontinuierlich an (Pohl und Urhahn, 2016). Laut des Ernährungsreportes 2017, der vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft herausgegeben wurde, ist die Regionalität eines Produktes mittlerweile nach dem Geschmack das wichtigste Kaufkriterium. Zudem achten 47 % beim Kauf ihrer Lebensmittel auf eine tiergerechte Haltung und 88 % der Befragten wären bereit, einen höheren Preis zugunsten eines höheren Tierwohles zu bezahlen. Ein Großteil davon würde außerdem ein staatliches Tierwohllabel begrüßen (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2017a).

Der Bau von neuen, immer größeren Mastanlagen löst dagegen häufig Protest und Widerstand in der Bevölkerung aus (Wenz, 2016). In Befragungen der Gesellschaft für Konsumforschung waren mehr als 60 % der Befragten gegen eine Massentierhaltung (Growth of Knowlege, 2015). Auch Billigfleisch gerät zunehmend in Verruf und wird unter anderem in den sozialen Medien heftig diskutiert, da davon ausgegangen wird, dass die Produktion zu solch niedrigen Preisen auf Kosten der Qualität und des Tierwohles gehen müsse (Schiffeler, 2017).

Im Mai 2017 wurde zudem ein von Greenpeace e. V. in Auftrag gegebenes Rechtsgutachten veröffentlicht, das die Kritik der Verbraucher an der konventionellen Tierhaltung noch verstärkte. Es sollte beurteilen, ob die konventionelle Mastschweinehaltung auf Grundlage der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung mit dem Tierschutzgesetz zu vereinbaren ist. Die Autoren kamen in diesem Gutachten zu dem Schluss, dass die in der TierSchNutztV verankerten Haltungsanforderungen „der Art und den Bedürfnissen der Schweine nicht gerecht“ werden und die konventionelle Schweinemast gegen das TierSchG verstößt. Sie forderten eine Änderung der Gesetzeslage (Bruhn und Wollenteit, 2017).

2.2.4 Konsequenzen

Da sich die Einstellung der Verbraucher in Bezug auf die intensive Landwirtschaft deutlich verändert hat, sie kritischer geworden sind und neben gutem Geschmack ihrer Lebensmittel auch zunehmend umweltschonende, tiergerechte und regionale Produktionsmethoden erwarten, haben auch Erzeuger, Bauernverbände und Politik reagiert. Sie wollen eine „gesellschaftlich akzeptierte Nutztierhaltung“ finden, in der dem Tierwohl mehr Bedeutung zukommt (Belaya und Hahlbrock,

2017; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2017b; Deutscher Bauernverband, 2017).

Zu diesem Zweck wurde 2015 die „Initiative Tierwohl“ gegründet, bei der sich Vertreter aus Landwirtschaft, Fleischwirtschaft und dem Lebensmitteleinzelhandel zusammen für mehr Tierschutz in der deutschen Nutztierhaltung einsetzen. Zu ihren Gesellschaftern gehören unter anderem der Deutsche Bauernverband e. V. und der Bundesverband der Deutschen Fleischwarenindustrie e. V.

Für die Umsetzung einer verbesserten Tierhaltung und Tiergesundheit wurden Tierwohlkriterien erarbeitet, die über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehen. Teilnehmende Betriebe müssen genau definierte Grundanforderungen in Bezug auf Haltung, Hygiene und Tiergesundheit erfüllen und können darüber hinaus weitere Wahlpflichtkriterien umsetzen. Der Kriterienkatalog für Mastschweine wurde 2018 erweitert und umfasst nun zusätzliche Pflichtkriterien wie „10 % mehr Platz“ und „zusätzliches organisches Beschäftigungsmaterial“. Für jede umgesetzte Maßnahme erhalten die Landwirte eine vom Marktpreis unabhängige Bezahlung, die durch den Verkauf von speziell mit dem Tierwohl-Label gekennzeichnetem Fleisch im Einzelhandel finanziert wird.

Die Umsetzung der Kriterien wird in regelmäßigen Abständen kontrolliert. Zudem werden die Befunde der geschlachteten Tiere am Schlachthof in einer Datenbank erfasst und ausgewertet, um daraus retrospektiv auf die Tiergesundheit und das Wohlbefinden der Tiere im Stall schließen zu können. Derzeit umfasst die Initiative bereits rund 12 % des deutschen Schweinebestandes. Eine Ausweitung auf 20 % ist bis 2020 geplant (Gesellschaft zur Förderung des Tierwohls in der Nutztierhaltung mbH, 2015, 2017).

Eine weitere große Tierwohl-Offensive mit dem Titel „Eine Frage der Haltung - Neue Wege für mehr Tierwohl“ wurde von der Politik initiiert. Diese Initiative des BMEL wird von einem Beraterstab, dem „Kompetenzkreis Tierwohl“, begleitet (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2016).

Der Wissenschaftliche Beirat für Agrarpolitik beim BMEL legte zudem 2015 ein Gutachten mit dem Titel „Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung“ vor. Darin analysieren die Autoren die derzeitige Haltungssituation deutscher Nutztiere und geben Empfehlungen, um diese weiter zu entwickeln. Vor allem im Bereich des Tierschutzes werden Leitlinien für die Etablierung einer akzeptierten Nutztierhaltung genannt. Hierzu zählen der Zugang zu verschiedenen Klimazonen und Funktionsbereichen mit unterschiedlichen Bodenbelägen, mehr Möglichkeiten zu artgerechter Beschäftigung, Körperpflege und Bewegung, allgemein mehr Platz sowie mehr betriebliche Eigenkontrollen anhand tierbezogener Tierwohlindikatoren und eine höhere Qualifikation des betreuenden Personals (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim BMEL, 2015).

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft will diese Empfehlungen nutzen und mit seiner Nutztierhaltungsstrategie das Tierwohl in der Nutztierhaltung weiter verbessern, die Umweltbelastung verringern und die Tierproduktion dabei wirtschaftlich, wettbewerbsfähig und dennoch für den Verbraucher akzeptabel machen. Deutschland soll als Vorbild im Bereich Tierwohl gelten (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2017c).

Dafür werden aktuell zahlreiche Forschungsprojekte zu Themengebieten wie Tierwohlindikatoren, Haltung, Tierschutz und -gesundheit auf nationaler und europäischer Ebene gefördert. Weiterhin sollen im Rahmen der Initiative freiwillige Vereinbarungen für mehr Tierwohl von Seiten der Wirtschaft abgeschlossen werden. Im Bereich der Schweinehaltung gibt es im Moment noch keine solchen Vereinbarungen.

Auch die Verbraucherkommission Bayern reagierte auf das Gutachten des BMEL und veröffentlichte im Oktober 2016 eine Stellungnahme bzw. Empfehlungen mit dem Titel „Gesellschaftlich akzeptierte Nutztierhaltung in Bayern“.

Darin werden die Haltungsbedingungen von Nutztieren speziell in Bayern analysiert und Problemfelder aufgezeigt. Die Autoren bemängeln eine zunehmende Intensivierung der Tierhaltung in Bayern mit verstärkter Ausrichtung auf Produktionssteigerung sowie Kostenersparnis und gleichzeitig zu wenige Tierschutzkontrollen, zu niedrige Sanktionen bei Verstößen und einen Personalmangel bei den Kontrollbehörden, was insgesamt eine Gefahr für Tiergesundheit und Tierwohl darstellen kann. Die Tiere werden laut der Stellungnahme zunehmend an die intensiven Haltungssysteme angepasst, anstatt die Umwelt an die Bedürfnisse der Tiere anzupassen.

Die Verbraucherkommission Bayern empfahl der bayerischen Staatsregierung deshalb, die Tierproduktion vermehrt auf die Aspekte Tierwohl, Qualität und Verbrauchersicherheit auszulegen und weniger auf Produktionssteigerung.

Besonders hervorgehoben wird auch der „One-Health-Ansatz“, der die Verbundenheit von Menschen, Tieren und Pflanzen aufgrund einer gemeinsamen Umwelt beschreibt und deutlich macht, dass die Gesundheit und das Wohlbefinden von Tieren und Menschen und damit auch der Verbraucherschutz nicht voneinander zu trennen sind.

Konkret werden der Aufbau eines Tierwohl-Monitoring-Programmes mithilfe von am lebenden Tier sowie am Schlachtkörper erfassten Tierwohl-Indikatoren, eine vermehrte Forschung hinsichtlich des Tierwohles, eine verbesserte Qualifikation von Tierhaltern und eine Optimierung der Haltungsbedingungen gefordert. Diese Verbesserungen sollen zum einen über finanzielle Anreize, zum anderen über strengere gesetzliche Vorgaben und verstärkte Kontrollen erreicht werden (Verbraucherkommission Bayern, 2016).

Auf europäischer Ebene werden neue Tierschutzprogramme angestrebt. Hierfür hat sich Deutschland mit den Niederlanden, Dänemark, Schweden und Belgien

zusammengeschlossen und eine europäische Tierschutzplattform gegründet (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2017c).
Als ergänzende Maßnahme wurde zudem ein staatliches Tierwohl-Label vorgestellt (Groß, 2017), welches laut des Koalitionsvertrages vom 14. März 2018 bis zur Mitte der aktuellen Legislaturperiode eingeführt werden soll (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2018).
Zahlreiche andere Label zur Kennzeichnung von unter besonders ökologischen oder tierfreundlichen Bedingungen hergestellten Lebensmitteln haben sich bereits auf dem Markt etabliert (Belaya und Hahlbrock, 2017). Seit 2001 gibt es ein staatlich anerkanntes Bio-Siegel für Deutschland und im Juli 2010 wurde ein EU-Bio-Siegel eingeführt, das von allen Öko-Lebensmittelerzeugern verpflichtend verwendet werden muss (BMEL, 2017). Der Deutsche Tierschutzbund vergibt ebenfalls ein eigenes Tierschutz-Label, das bezüglich der Tierhaltung zwischen Einstiegs- und Premiumstufe unterscheidet (Deutscher Tierschutzbund e.V., 2017b).
Die meisten ökologisch produzierenden Landwirte und Unternehmen sind bereits in Verbänden wie „Bioland“, „Demeter“ oder „Neuland“ organisiert. Diese Verbände werben besonders mit tiergerechter und umweltschonender Nutztierhaltung, die über die gesetzlichen Anforderungen hinausgeht, und finden beim Verbraucher zunehmend Zuspruch (Belaya und Hahlbrock, 2017; Krenn, 2013).
Einzelunternehmen wie der Metzgerei Strobel aus Selbitz-Dörnthal in Bayern ist das Thema Tierwohl ebenfalls wichtig und sie nutzen es als Vermarktungschance (Strobel, 2015). Amtstierarzt Dr. Hermann Meiler prägte gemeinsam mit Metzgermeister Rüdiger Strobel den Begriff „Strohschwein“.
Im Landkreis Hof wurde 2015 auf deren Initiative das „Strohschweine“-Programm ins Leben gerufen, in deren Rahmen nur noch Fleisch von Schweinen verarbeitet und verkauft wird, die auf Stroh anstatt auf Spaltenböden gehalten wurden (Köhler, 2015). Schweine können so ihr natürliches Wühlverhalten ausüben und sind gesünder (Meiler, 2016).
Die Metzgerei Strobel lässt sich hierfür ausschließlich von regionalen Landwirten beliefern, die diese Bedingung erfüllen, und zahlt im Gegenzug einen festen Aufpreis pro Kilogramm Lebendgewicht an die Landwirte. Interessierte Kunden können die entsprechenden Betriebe im Zuge von Führungen besichtigen, so dass sie genau wissen, woher ihr Fleisch stammt (Köhler, 2015).
Auch die Systemgastronomie griff diese Idee auf. Im Projekt „DIG-Strohschwein Bayern“, das vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert wird, wird besonderer Wert auf Tierwohl, Nachhaltigkeit und Regionalität in der Schweinemast gelegt. Das im Rahmen dieses Projektes produzierte Fleisch wird in zahlreichen Großkantinen in Bayern serviert. Dazu zählen die Kantinen von Audi, Allianz, MAN oder dem Studentenwerk Erlangen/Nürnberg.

Das Projekt umfasst dabei verschiedene Kriterien, die die zuliefernden Schweinemäster einhalten müssen. Ihre Tiere haben unter anderem 25 % mehr Platz, einen kleineren Anteil an Spaltenböden und mindestens 40 % planbefestigten Boden, der mit Stroh eingestreut wird (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, 2017; BayernBankett Gastronomie GmbH, 2017).

2.3 Tiergesundheitsparameter

2.3.1 Akzessorische Schleimbeutel

Schleimbeutel (lat.: Bursae synoviales), sind bindegewebig abgegrenzte Spalten und Hohlräume, die eine synoviaähnliche Flüssigkeit beinhalten (Hees und Sinowatz, 2000; Seiferle und Frewein, 2004). Sie werden bereits embryonal als Druckschutzvorrichtung unter Skelettteilen, Muskeln, Sehnen und Bändern angelegt (Seiferle und Frewein, 2004).
Akzessorische Schleimbeutel, auch akzessorische Bursen (lat. Bursae auxiliares) oder Hilfsschleimbeutel genannt, sind abgekapselte flüssigkeitsgefüllte Umfangsvermehrungen, die erst nach der Geburt zur Minderung stetiger Druck- oder Scherkräfte entstehen, also embryonal noch nicht angelegt sind und deshalb als erworbene oder reaktive Schleimbeutel bezeichnet werden können (Seiferle und Frewein, 2004). Aus diesem Grund werden sie zu den Technopathien, den haltungsbedingten Erkrankungen, beim Schwein gerechnet (Gareis et al., 2016; Plonait, 2004; Vallant, 2004).

2.3.1.1 Lokalisation

Hilfsschleimbeutel können, ähnlich den embryonal angelegten Bursae synoviales, zwischen knöchernen Strukturen, unter Muskeln, Sehnen, Bändern oder subkutan entstehen (Seiferle und Frewein, 2004). Häufig liegen sie über markanten Knochenvorsprüngen (Vallant, 2004).
In der Literatur werden verschiedene charakteristische Lokalisationen beschrieben. Hilfsschleimbeutel wurden in verschiedenen Studien lateroplantar, plantar sowie medial und medioplantar auf Höhe des Tarsalgelenkes und weiterhin über dem Tuber calcanei dokumentiert (Glawischnig, 1965; Mouttotou et al., 1999a; Penny et al., 1963; Probst et al., 1990).
Auch an den Vordergliedmaßen wurden akzessorische Bursen beschrieben. Diese lagen lateral auf Höhe des Ellenbogens, dorsal auf dem Karpalgelenk, dorsolateral am Fessel- und Krongelenk oder lateral an Radius und Ulna (Gareis et al., 2016; Plonait, 2004; Probst, 1989). Es zeigte sich aber, dass an den Hintergliedmaßen deutlich häufiger akzessorische Bursen auftreten, als dies an den Vordergliedmaßen der Fall ist (Haberland et al., 2017).
Insgesamt war die am häufigsten vertretene Fundstelle die Lokalisation lateroplantar am Sprunggelenk (Mouttotou et al., 1999a). Ein Unterschied

zwischen den linken und rechten Gliedmaßen konnte weder von Mouttotou et al. (1999a) noch von Haberland et al. (2017) festgestellt werden.

2.3.1.2 Mikrobiologie

Abgesehen von den Ergebnissen der Studie von Gareis et al. (2016) gibt es in der Literatur nur wenig aktuelle Informationen über eine mögliche mikrobiologische Belastung der akzessorischen Schleimbeutel. Tabelle 3 liefert eine Übersicht über die in den letzten Jahrzehnten von verschiedenen Autoren durchgeführten mikrobiologischen Untersuchungen und die dabei identifizierten Bakterien.

Behrens und Trautwein (1964) beschrieben in neun von zwölf untersuchten Bursen einen unspezifischen Keimgehalt. In einem Schleimbeutel konnten sie *Trueperella pyogenes* nachweisen. Zwei Schleimbeutel blieben ohne bakteriellen Nachweis. Glawischnig (1965) untersuchte sieben Bursen, wobei in sechs davon keine Keime nachgewiesen werden konnten. In einem Hilfsschleimbeutel fand er hämophile Bakterien. Nielsen (1988) kultivierte *Mycoplasma hyorhinis* aus Burseninhalt. Von einer Isolierung von *Mycoplasma hyosynoviae* sprachen zudem Penny und Muirhead (1986). Marchant (1980) wiederum untersuchte Bursengewebe und -inhalt und fand bei 35 % der Proben Bakterien, bei denen es sich vorrangig um Staphylokokken und Streptokokken handelte. Auch Probst (1989) fand Staphylokokken und Streptokokken in geringem Maße.

Weitere mikrobiologische Untersuchungen fanden im Rahmen der Studie von Gareis et al. (2016) statt, in welcher der Inhalt von 853 am Schlachthof entnommenen Hilfsschleimbeuteln mikrobiologisch untersucht wurde. Zu 98,8 % war kein Keimwachstum nachweisbar. In jeweils fünf Schleimbeuteln wurden *Staphylococcus aureus* und *Dermacoccus* spp. nachgewiesen.

Tabelle 3: Literaturübersicht über die Ergebnisse mikrobiologischer Untersuchungen von akzessorischen Schleimbeuteln

Quelle	**n**	**Bursen mit Keimnachweis**	**Identifizierte Bakterien**
Behrens und Trautwein (1964)	12	10 (83,3 %)	unspezifisch, *Trueperella pyogenes*
Glawischnig (1965)	7	1 (14,3 %)	Hämophile Bakterien
Nielsen (1988)	k. A.	k. A.	*Mycoplasma hyorhinis*
Penny und Muirhead (1986)	k. A.	k. A.	*Mycoplasma hyosynoviae*
Marchant (1980)	163	57 (35,0 %)	*Streptococcus* spp., *Staphylococcus* spp.
Probst (1989)	k. A.	k. A.	*Streptococcus* spp., *Staphylococcus* spp.
Gareis et al. (2016)	853	10 (1,2 %)	*Dermacoccus* spp., *Staphylococcus aureus*

k. A.: keine Angaben, n: Anzahl untersuchter Hilfsschleimbeutel

2.3.1.3 Histologie

Behrens und Trautwein (1964) unterschieden bei ihren Untersuchungen zwischen dünn- und dickwandigen Hilfsschleimbeuteln. Bei den dünnwandigen Bursen fehlte eine endotheliale Auskleidung. Ihre innere Oberfläche bestand aus Fibrin, fibroblastischem Material und Entzündungszellen, während ihre äußeren Wandschichten vor allem durch fibrinöse Einlagerungen gekennzeichnet waren. Zwischen den Fibrinschichten fanden sich Granulationsgewebe und darunter lockeres Bindegewebe. Die äußerste Schicht wurde von straffem Bindegewebe gebildet.

Die dickwandigen Schleimbeutel stellten nach Meinung der Autoren eine fast vollständig abgeklungene fibrinöse Entzündung dar. Die äußere Wand war stark verdickt und im Inneren fand sich kaum noch freie Flüssigkeit. Stattdessen wurde der Innenraum von fibrösem Bindegewebe ausgefüllt, das sich zapfenartig vorwölbte.

Papsthard (1989) kam bei seiner Untersuchung von 48 Hilfsschleimbeuteln zu dem Ergebnis, dass anhand des Inhalts und der Wandstruktur der Schleimbeutel fünf Typen von Bursen unterschieden werden können (Tabelle 4).

Tabelle 4: Entzündungstypen nach Papsthard (1989)

Bursen- Typ	**Charakteristische Eigenschaften**
Bursa ohne besonderen Befund	keine Auffälligkeiten, Aufbau wie embryonal angelegte Schleimbeutel
Florider Entzündungstyp	Fibrin im Lumen und der inneren Wandschicht, viel junges Granulationsgewebe, fibröses Gewebe in äußerer Wandschicht, mononukleäre Entzündungszellen und Erythrozyten
Reifer Entzündungstyp	kaum Fibrin, vor allem fibröses Gewebe, wenig Granulationsgewebe, selten Entzündungszellen oder Erythrozyten
Mischtyp	Übergangsform zwischen floridem und reifem Typ
Abszesstyp	Bakterien, Entzündungszellen, Eiter, vor allem junges Granulationsgewebe

Der floride Entzündungstyp ist durch Fibrinergüsse im Lumen und in den inneren Wandschichten gekennzeichnet. Die innere Oberfläche wird dabei von einer dünnen unregelmäßigen Schicht aus Synovialzellen gebildet, während die äußeren Wandschichten aus einer Mischung von jungem Granulationsgewebe und fibrösem Gewebe bestehen. Das Bild des floriden Typs wird von mononukleären Entzündungszellen und Erythrozyten vervollständigt.

Beim reifen Typ sind dagegen Fibrin, Entzündungszellen und Erythrozyten nur selten zu finden. Die innere Oberfläche wird ebenfalls von einer unregelmäßigen Synovialschicht gebildet. Fibröses Gewebe macht den größten Teil der Bursawand aus. Granulationsgewebe liegt dabei in deutlich geringerem Maße vor als bei der

floriden Entzündung. Ein Übergang zwischen diesen beiden Formen ist fließend möglich und zeigt sich als sogenannter Mischtyp. Hierbei können Eigenschaften des floriden und des reifen Typs gleichzeitig vorliegen.
Der Abszesstyp kann sich sowohl aus den floriden als auch aus dem reifen Entzündungsstadium entwickeln. Er ist von Bakterien, Eiter und jungem Granulationsgewebe geprägt.
In den Studien von Papsthard (1989) dominierte der reife Typ mit 30 von 48 untersuchten Schleimbeuteln. Am zweithäufigsten lag der floride Entzündungstyp vor. Diesem wurden 15 Schleimbeutel zugeordnet. Ein Abszessstadium wurde dreimal nachgewiesen. Ein ähnliches Verteilungsmuster lieferte auch die Untersuchung von 30 Hilfsschleimbeuteln bei Gareis et al. (2016). Vier Bursen zeigten einen floriden Entzündungstyp, 17 wurden dem reifen Typ zugeordnet, der Mischtyp wurde viermal gefunden und ein akzessorischer Schleimbeutel zeigte Abszesscharakter. Die restlichen vier Hilfsschleimbeutel waren Bursen ohne besonderen Befund, glichen also den embryonal angelegten physiologischen Schleimbeuteln.

2.3.1.4 Begünstigende Faktoren

Prinzipiell entstehen akzessorische Schleimbeutel durch anhaltende mechanische Beanspruchung immer gleicher Körperregionen als pathologische Antwort auf wiederholte Druck- und Scherkräfte (Gillman et al., 2008; Plonait, 2004; Seiferle und Frewein, 2004). In verschiedenen Studien wurden allerdings weitere Risikofaktoren gefunden, die die Bildung und Ausprägung solcher Schleimbeutel beim Schwein beeinflussen können (Haberland et al., 2017; KilBride et al., 2009; Mouttotou et al., 1997).
So scheint vor allem die Bodenbeschaffenheit im Stall eine entscheidende Rolle zu spielen. Auf hartem, rutschigem Untergrund (z.B. Beton ohne Einstreu), Gusseisenrosten oder Spaltenböden gehaltene Schweine entwickeln signifikant mehr Bursen als Schweine, die auf Stroh gehalten werden (Bäckström und Henricson, 1966; Gareis et al., 2016; Lyons et al., 1995; Mouttotou et al., 1998b, 1999b; Papsthard, 1989; Probst et al., 1990; Savary et al., 2007; Scott et al., 2006). Gummi- oder Kunststoffmatten im Liegebereich verhindern dagegen die Entstehung von Hilfsschleimbeuteln (Savary et al., 2011; Savary et al., 2007).
Auch eine hohe Belegdichte beziehungsweise ein zu geringes Platzangebot begünstigen laut Smith (1993) und Temple et al. (2012) das Auftreten von akzessorischen Bursen.
Weiterhin wurden auch mit steigendem Alter (Bäckström und Henricson, 1966; Haberland et al., 2017), zunehmendem Muskelfleischanteil und höheren täglichen Zunahmen (Haberland et al., 2017) mehr und größere Hilfsschleimbeutel beobachtet. Daneben wurde schon früh eine genetische Disposition bei einigen Schweinerassen beschrieben (Bäckström und Henricson, 1966). Dies bestätigte

sich in einer neueren Studie erneut (Haberland et al., 2017). Eine Zusammenstellung der Faktoren, die eine Bildung von akzessorischen Bursen begünstigen können, ist Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Begünstigende Faktoren für die Ausbildung akzessorischer Bursen

Risikofaktor		**Quelle**
allgemein	**speziell**	
Harte, rutschige Böden/ keine Einstreu	z. B. Betonboden ohne oder mit nur wenig Stroh; Gummi oder Kunststoffmatten wirkten sich positiv aus	Bäckström und Henricson (1966); Gillman et al. (2008); Lahrmann et al. (2003); Lyons et al. (1995); Mayer (1999); Mouttotou et al. (1998a, 1998b); Penny und Muirhead (1986); Pflanz et al. (2005); Probst (1989); Savary et al. (2011); Savary et al. (2007)
Spaltenböden/ Gusseisenböden	Prävalenzen: Gusseisen > Vollspalten > Teilspalten	Berner et al. (1990); Gareis et al. (2016); Gillman et al. (2008); Guy et al. (2002); Mayer (1999); Papsthard (1989)
Raue, defekte Stallböden		Lahrmann et al. (2003)
Hohe Belegdichte/ geringes Platzangebot		Smith (1993); Temple et al. (2012)
Zunehmendes Alter		Bäckström und Henricson (1966); Gillman et al. (2008); Haberland et al. (2017); Papsthard (1989); Temple et al. (2012)
Wenig Unterhautfett/ trockene Gliedmaßen	vermehrte Druckbelastung durch wenig polsterndes Gewebe	Plonait (2004)
Hoher Fleischanteil des Schlachtkörpers/ zunehmende Schlachtkörperlänge		Haberland et al. (2017)
Hohe tägliche Zunahmen/ schnelles Wachstum/ hohes Gewicht		Haberland et al. (2017); Muirhead und Alexander (1997); Papsthard (1989)
Genetik/ Rassezugehörigkeit	dünnhäutige veredelte Rassen vermehrt betroffen; stark pigmentierte Rassen seltener betroffen; Piétrain und Deutsches Edelschwein prädisponiert bzw. am häufigsten betroffen	Bäckström und Henricson (1966); Behrens und Trautwein (1964); Orsi (1967); Penny und Hill (1974), Smith und Morgan(1994);(Haberland et al., 2017)
Erkrankungen/ Abnormitäten der Beine oder Klauen/ vermindertes Stehvermögen	„Beinschwächesyndrom“, ungünstig gewinkelte Gelenke, zu lange oder verletzte Klauen	Bäckström und Henricson (1966); Papsthard (1989); Penny und Muirhead (1986); Smith (1993)

2.3.1.5 Prävalenz

Tabelle 6 bietet eine Übersicht über die von verschiedensten Autoren ermittelten Prävalenzen von akzessorischen Schleimbeuteln in Abhängigkeit von der Haltungsform.

Tabelle 6: Prävalenzen von akzessorischen Schleimbeuteln bei Schweinen

Quelle	Haltungsform	n	Prävalenz
Bäckström und Henricson (1966)	k. A.	k. A.	36 %
Penny und Hill (1974)	k. A.	11.811	73,4 %
Marchant (1980)	k. A.	k. A.	25,6 %
Papsthard (1989), Berner et al. (1990)	Betonvollspalten	27	96,3 %
	planbefestigter Boden	102	41,2 %
	Gusseisenroste	168	59,5 %
Probst et al. (1990)	Stroh	55	0 %
	Teil- /Vollspalten	168	höher
Smith (1993)	k. A.	14.046	87 %
Mouttotou et al. (1998a)	verschiedene	3.989	10,1 - 84,0 %
Mouttotou et al. (1998b)	Betonboden mit wenig Stroh	1.011	85,4 %
Mouttotou et al. (1999a)	verschiedene	912	63,4 %
Mayer (1999)	Vollspalten	k. A.	43 %
	Teilspalten	k. A.	27 %
	Kistenstall	k. A.	22 %
	Tiefstreu	k. A.	0 %
Savary et al. (2007)	Teilspalten (Beton)	k. A.	28 %
	Teilspalten + Stroh	k. A.	21 %
	Teilspalten + Kunststoff-matte	k. A.	8 %
Gillman et al. (2008)	Vollspalten	6.250	61,5 %
	Teilspalten		46,6 %
	Beton mit wenig Stroh		50,8 %
	niedriges Strohbett		30,5 %
	Tiefstreu		24,5 %
	Erde		4,4 %
Temple et al. (2012)	Vollspalten	11.647	moderate Bursitis: 45,2 %, schwere Bursitis: 10,8 %
	Teilspalten		moderate Bursitis: 42,1 %, schwere Bursitis: 3,2 %
	Beton		moderate Bursitis: 9,7 % schwere Bursitis: 0 %
	Freiland		moderate Bursitis: 3,1 % schwere Bursitis: 0 %
	Stroh		moderate Bursitis: 6 % schwere Bursitis: 0 %
Gareis et al. (2016)	konventionelle Haltung	948	91,8 %
	ökologische Haltung	58	13,8 %
Haberland et al. (2017)	konventionelle Haltung	12.500	82 %

n: Anzahl untersuchter Schweine, k. A.: keine Angaben

Auffällig ist hierbei die große Varianz der Angaben. Der Vollständigkeit halber zeigt die Tabelle auch Untersuchungen von Schweinen aus anderen Haltungsformen als der konventionellen Haltung auf Vollspaltenböden.
Die Prävalenzen von akzessorischen Bursen bei konventionell gehaltenen Schweinen schwankt in den Literaturangaben zwischen 43 % (Mayer, 1999) und 96 % (Papsthard, 1989).

2.3.1.6 Bedeutung

In früheren Studien wurde akzessorischen Bursen wenig Bedeutung beigemessen, da man sie weder mit Lahmheit noch mit einer Einschränkung des Wohlbefindens oder der Gesundheit der Tiere in Verbindung brachte (Bäckström und Henricson, 1966; Gillman et al., 2008; Orsi, 1967; Savary et al., 2007).
Eine mögliche Schmerzhaftigkeit der akzessorischen Schleimbeutel wurde erstmals von Papsthard (1989) diskutiert. Er stellte vor allem bei der Palpation von neu gebildeten, weichen und fluktuierenden Bursen Abwehrbewegungen fest. In den anschließenden Untersuchungen fand er bei genau diesen Bursen meist einen akuten Entzündungsprozess vor. Bei älteren derben Hilfsschleimbeuteln hingegen konnte er meist kein Abwehrverhalten mehr auslösen.
Papsthard (1989) kommt deshalb zu dem Schluss, dass vor allem zu Beginn der Schleimbeutelbildung ein akut schmerzhafter Prozess vorliegt, während in einem chronischen Stadium höchstens von einer geringgradigen Schmerzhaftigkeit auszugehen ist. Eine spätere Schmerzhaftigkeit durch ein erneutes Trauma schließt er dabei nicht aus.
Auch Gareis et al. (2016) gehen anhand der erhobenen Befunde von einem entzündlichen Geschehen und einer damit verbundenen zeitweisen Schmerzhaftigkeit aus. Bei der makroskopischen Beurteilung der Hilfsschleimbeutel am Tier stellten sie Entzündungszeichen wie Rötung und Schwellung fest. Weiterhin zeigten 85 % der histopathologisch untersuchten Bursen einen entzündlichen Charakter. Dies bekräftigte die Interpretation einer vorhandenen Schmerzhaftigkeit.
Mittlerweile erlangen Hilfsschleimbeutel beim Schwein unabhängig von ihrer Schmerzhaftigkeit auch als Indikator für Tiergesundheit und Tierwohl zunehmend Bedeutung (Gesellschaft zur Förderung des Tierwohls in der Nutztierhaltung mbH, 2015; Welfare Quality®, 2009). Solche Indikatoren können sowohl zur Beurteilung des Tierwohles als auch zur Aufdeckung mangelhafter Haltungsformen oder fehlerhaften Managements im Haltungsbetrieb beitragen (Internationale Gesellschaft für Nutztierhaltung, 2016).
Besonders am Schlachthof bietet sich die Begutachtung der Tiere hinsichtlich akzessorischer Schleimbeutel an, da hier zum einen sehr viele Tiere aus unterschiedlichen Betrieben einfach und schnell untersucht werden können und die

Untersuchung zum anderen durch amtliches Fachpersonal unabhängig vom Landwirt erfolgen kann. Eine Erfassung und Dokumentation von Hilfsschleimbeuteln zu diesem Zweck ist mittlerweile automatisiert möglich (Blömke und Kemper, 2017). Im Welfare Quality assessment protocol werden bereits seit 2009 Bursitiden als Kriterium zur Beurteilung des Tierwohles und der Tiergesundheit herangezogen. Auch die Initiative Tierwohl fordert seit 2016 eine Dokumentation tierschutzrelevanter Befunde am Schlachthof, zu denen auch das Auftreten von „Liegebeulen“ gehört. Die erhobenen Befunde werden an die zentrale Befunddatenbank der Qualität und Sicherheit GmbH (QS) weitergeleitet, die so 2016 bereits mehr als 70 % aller Schlachtungen erfasste (Lehnert, 2016).

2.3.2 Lungen

2.3.2.1 Lungenerkrankungen

Weltweit sorgen Lungenerkrankungen für erhebliche Leistungseinbußen, Krankheit und Leiden beim Mastschwein. Die Ökonomie der Schweineproduktion wird durch zahlreiche Erreger in Kombination mit den intensiven Haltungsformen in Frage gestellt. Zudem bergen diese Faktoren Gefahren für den Tier- und Verbraucherschutz (Reiner, 2015).

Dabei spielen Erkrankungen des Einzeltieres eher eine untergeordnete Rolle, vielmehr steht das enzootische Geschehen im Vordergrund (Zimmermann und Plonait, 1997). Monoinfektionen mit nur einem Pneumonieerreger sind zudem eher selten. Meistens handelt es sich bei den Atemwegserkrankungen des Schweines um Mischinfektionen mit mehreren beteiligten Erregern (Palzer, 2006). Als bakterielle Verursacher von Pneumonien beim Schwein kommen vor allem Bakterien der Gattungen *Actinobacillus*, *Bordetella, Haemophilus, Pasteurella* und *Mycoplasma* in Frage. Dieses Kapitel soll einen Überblick über die einzelnen Erreger, ihre Eigenschaften und das von ihnen verursachte Krankheitsbild liefern:

Actinobacillus pleuropneumoniae (APP) gehört der Familie der gramnegativen Pasteurellaceae an (Rapp-Gabrielson et al., 2006). Seine 18 bekannten Serotypen zeigen deutliche Unterschiede in Virulenz und Antigenität. Vor allem die Serotypen 2, 3, 4, 5 ,7 und 9 gelten in Europa als besonders virulent (Reiner, 2015). Die von APP ausgelöste Pleuropneumonie zählt zu den wichtigsten Infektionskrankheiten der Schweinehaltung weltweit. Sie ist hochgradig ansteckend und führt zu starken Störungen des Allgemeinbefindens mit Fieber. Die Mortalitätsrate ist hoch (Ewers und Wieler, 2011).

Es werden drei klinische Verlaufsformen beschrieben. Welche Form auftritt, hängt von Faktoren wie der Betriebshygiene, Begleitinfektionen, der Virulenz des Erregers und der Immunität der Schweine ab (Hensel et al., 1993; Reiner, 2015).

Die perakute Form verursacht hohes Fieber, Apathie, Fressunlust und hochgradige Dyspnoe, die zu Zyanosen und blutig serösem bis schaumigem Ausfluss aus Maul und Nase führen kann. Die meisten Tiere verenden. Bei einem akuten Verlauf werden Fieber, Anorexie und hochgradiger Husten mit Dyspnoe beobachtet. Diese Symptome sind bei der chronischen Verlaufsform nur selten zu beobachten. Hier zeigen sich nur vereinzelt respiratorische Symptome und eine verminderte Leistung (Liggett et al., 1987).
Pathologisch zeigt sich eine fibrinöse bis hämorrhagisch-nekrotisierende Pneumonie, häufig in Kombination mit einer fibrinösen Pleuritis (Reiner, 2015; Zimmermann und Plonait, 1997). In geringgradigen akuten Fällen können schwarzrote, deutlich abgegrenzte Nekroseherde, serofibrinöse Ausschwitzungen auf der Pleura und Ödeme im Interstitium beobachtet werden. Die Nekroseherde können sich bei Beteiligung von Sekundärerregern wie *Bordetella bronchiseptica* zu Abszessen entwickeln. Bei perakuten Verlaufsformen werden ganze Lungenlappen, bevorzugt die Zwerchfelllappen, oder die Hälfte der Lunge zerstört. Erreicht die Erkrankung ein chronisches Stadium, zeigen sich in der pathologischen Untersuchung vor allem Sequester, Verhärtungen des Lungengewebes und Verklebungen der Pleura (Weiss und Rudolph, 2007a).

Bordetella bronchiseptica, ein gramnegatives pleomorphes Stäbchen, kommt in fast allen Schweinebeständen vor und wird meist schon im Saugferkelalter von der Muttersau auf die Ferkel übertragen. Zwar ist die Pathogenität des Erregers belegt, inwieweit er aber als primär kausales Agens von Lungenerkrankungen auftritt, ist umstritten (Bauerfeind, 2011). Reiner (2015) geht von *Bordetella bronchiseptica* als Sekundärerreger, vor allem bei der enzootischen Pneumonie und dem Porcine Respiratory Disease Complex (PRDC), aus. Er beschreibt ihn als Wegbereiter für andere Erreger, wie beispielsweise Pasteurellen. Besonders bedeutsam ist er auch als sekundärer Erreger bei der Rhinitis atrophicans (Kielstein et al., 1981; Schöss, 1982). Weiss und Rudolph (2007a) beschreiben ihn als primären Verursacher milder eitriger Bronchopneumonien.

Haemophilus parasuis (HPS), der gramnegative Erreger der Glässer-Krankheit, wurde 1910 erstmals von Glässer nachgewiesen und beschrieben. Vor den Zeiten der intensiven Schweinehaltung waren Erkrankungen bei Schweinen durch HPS eher selten. Heute zählt die Glässersche Krankheit zu den wichtigsten Erkrankungen in der Schweineindustrie weltweit (Rapp-Gabrielson et al., 2006). Smart et al. (1989) sehen die Gründe hierfür in den intensiven Haltungsbedingungen, dem Zukauf von infizierten Zuchttieren oder im Einstallen von Tieren vieler verschiedener Herkünfte. Auch Transportstress soll laut Ritzmann und Heinritzi (2005) die Manifestation der Glässerschen Krankheit begünstigen. Es werden 15 Serovare unterschieden, von denen 1, 5, 10, 12, 13 und 14 als hoch

virulent gelten. Die Serovare 2, 4 und 15 sind moderat virulent; der Rest wird als nicht virulent angesehen (Ewers und Wieler, 2011).
Allgemein wird HPS dem physiologischen Keimspektrum des oberen Respirationstraktes zugeordnet und kann bei klinisch auffälligen wie unauffälligen Schweinen nachgewiesen werden (Palzer et al., 2005). Er kann neben der typischen Polyarthritis und Polyserositis auch Pneumonien und Meningitiden verursachen (Ewers und Wieler, 2011). Betroffen sind hiervon vor allem Ferkel nach dem Absetzen und Läufer nach dem Einstallen in die Mast. Bei älteren Schweinen und in endemischen Betrieben bleibt es oft bei auf den Respirationstrakt bezogenen Symptomen (Oliveira und Pijoan, 2002). Pathologisch zeigen sich Lungenerkrankungen, bei denen HPS als Sekundärerreger beteiligt ist, als katarrhalisch-eitrige Bronchopneumonien in möglicher Kombination mit Pleuritiden (Weiss und Rudolph, 2007b).

Pasteurella multocida ist ein physiologisch im oberen Respirationstrakt des Schweines vorkommendes, gramnegatives, häufig bekapseltes Stäbchenbakterium (Ewers und Wieler, 2011). Es tritt bei Pneumonien vorrangig als Sekundärerreger auf (Blaha, 1992). Besonders an der enzootischen Pneumonie (EP) und dem PRDC ist *Pasteurella multocida* gemeinsam mit Mykoplasmen, Bordetellen und verschiedenen Viren häufig beteiligt (Reiner, 2015). Bei der Rhinitis atrophicans spielen toxinbildende Stämme ätiologisch eine primäre Rolle (de Jong, 1999). Straw (1986) beschreibt *Pasteurella multocida* zusätzlich als Primärerreger von akuten fibrinös-nekrotisierenden Pneumonien. In Form von primären Pasteurellosen spielen diese aber heute kaum noch eine Rolle. Eine fibrinöse Pleuropneumonie entsteht vielmehr aus einer sekundären Infektion mit *Pasteurella multocida* bei einer vorhergegangenen enzootischen Pneumonie oder bei Infektionen mit dem Porcines Reproduktives und Respiratorisches Syndrome Virus (PRRSV) (Weiss und Rudolph, 2007a).
Das Sektionsbild zeigt sich laut Reiner (2015) in Form von akuten Broncho- und Pleuropneumonien. Diese betreffen vorrangig die kranioventralen Lungenareale, in die sich das Geschehen, ausgehend von einer enzootischen Pneumonie in den Spitzenlappen, ausgebreitet hat.

Mycoplasma hyopneumoniae (Mhyo), ein zellwandloses Bakterium der Klasse Mollicutes, gehört als Auslöser der enzootischen Pneumonie zu den bedeutendsten bakteriellen Erregern von Lungenerkrankungen bei Schweinen. In vielen Ställen verbreitet, infiziert er die Tiere meist schon im Saugferkelalter (Selbitz, 2011). Reine Monoinfektionen verlaufen dabei eher subklinisch, denn bei der EP handelt es sich um eine typische Faktorenkrankheit, bei der erst das Mitwirken von belastenden Umweltfaktoren oder Sekundärerregern klinische Symptome auftreten lässt (Desrosier, 2001; Selbitz, 2011).

Nach Infektion der Lunge führt Mhyo zu einem Verkleben des Ziliarepithels, einer Hemmung der Immunabwehr und zu geringgradigen Entzündungsreaktionen. Dies erleichtert die Besiedelung des Atemtraktes mit anderen Krankheitserregern, wie *Pasteurella multocida* (Amass et al., 1994) oder APP (Yagihashi et al., 1984).
Untersucht man infizierte Lungen pathologisch, zeigen sich vorrangig Veränderungen in den schlecht belüfteten Spitzenlappen, welche sich dunkel verfärbt darstellen und eine fleischige Konsistenz aufweisen. Bei akutem Verlauf wird häufig eine diffuse interstitielle Pneumonie diagnostiziert. Bei den subakuten und chronischen Verlaufsformen hingegen, bei denen in der Regel sekundäre Infektionen mit *Pasteurella multocida*, *Bordetella bronchiseptica*, HPS, *Trueperella pyogenes* oder Streptokokken wie *Streptococcus suis* hinzukommen, zeigen sich herdförmige Bronchopneumonien mit diversen Atelektasen und Emphysemen. Zum Teil können Entzündungen der Pleura oder des Herzbeutels hinzukommen (Weiss und Rudolph, 2007a).

Mycoplasma hyorhinis (Mhr) wird zu den ubiquitär in der Nasenhöhle des Schweines vorkommenden Bakterien gezählt. Seine Bedeutung für die Entstehung von Lungenentzündungen ist noch nicht endgültig geklärt (Schulman et al., 1970). Laut Palzer et al. (2005) kann er mittels Polymerasekettenreaktion (PCR) sowohl in veränderten als auch in gesunden Schweinelungen detektiert werden. Bei Saugferkeln wird er dabei häufiger nachgewiesen als bei Masttieren.
In verschiedenen Studien zeigte sich zudem, dass Mhr signifikant häufiger in pathologisch veränderten Lungen als in gesunden Lungen gefunden werden kann (Schulman et al., 1970). Für die Entstehung von Pneumonien sind laut Kinne et al. (1991) allerdings neben einer Infektion mit *Mycoplasma hyorhinis* weitere belastende Faktoren wie körperlicher Stress notwendig. In Tierversuchen, bei denen Schweine vorsätzlich mit Mhr infiziert wurden, konnten allerdings durchaus Entzündungen der Lunge allein durch Mhr ausgelöst werden. Diese ähnelten im Sektionsbild der EP oder katarrhalisch-eitrigen Bronchopneumonien (Kinne et al., 1991; Lin et al., 2006). Meist wird jedoch eher von einer Beteiligung als Sekundärerreger ausgegangen (Selbitz, 2011; Weiss und Rudolph, 2007b).

Neben den beschriebenen Bakterien spielen Viren eine wichtige ätiologische Rolle bei den Lungenerkrankungen des Schweines (Christensen et al., 1999; Palzer, 2006; Reiner, 2015). Sie verursachen nach der aerogenen Infektion vor allem interstitielle Lungenentzündungen. Besonders bedeutsam sind PRRSV, das Porcine Circovirus vom Typ 2 (PCV2) und das Influenza A Virus (Reiner, 2015). Da im Rahmen dieser Arbeit allerdings keine virologischen Erregernachweise stattgefunden haben, wird an dieser Stelle nicht weiter auf Viren eingegangen.
Auch Pilze wie beispielsweise *Aspergillus* spp. können bei Mensch und Tier Pneumonien hervorrufen. Diese sind beim Schwein allerdings nur von geringer

Bedeutung und sollen deshalb hier ebenfalls nicht weiter erläutert werden (Weiss und Rudolph, 2007b).
Wie aus den obigen Ausführungen hervor geht, ist das Erregerspektrum, welches Lungenerkrankungen beim Schwein hervorrufen kann, groß. Aus diesem Grund, wegen der Ähnlichkeit der verursachten Lungenläsionen und durch das häufige Vorliegen von Mischinfektionen kann allein anhand des pathologischen Erscheinungsbildes meist nicht auf den verursachenden Erreger geschlossen werden (Leneveu et al., 2012). Hierfür ist weitere Diagnostik in Form von direkten oder indirekten Erregernachweisen nötig (Christensen et al., 1999; Grosse Beilage und Wendt, 2013).

2.3.2.2 Nichtinfektiöse Einflussfaktoren auf die Lungengesundheit

Neben den oben beschriebenen Erregern haben auch nichtinfektiöse Faktoren Einfluss auf die Lungengesundheit bei Mastschweinen. Da es sich bei der Entstehung der bereits beschriebenen Lungenerkrankungen meistens um multifaktorielle Geschehnisse handelt, ist der Einfluss nichtinfektiöser Faktoren wie Aufstallungsbedingungen, Anzahl der Tiere pro Stalleinheit und Stallklima von großer Bedeutung (Schuh, 2001). Zum einen kann die Übertragung von Pathogenen begünstigt werden, zum anderen sorgen ungünstige Haltungs-bedingungen oder schlechtes Management für vermehrten Stress bei den Tieren und eine stärkere Belastung des Respirationstraktes der Schweine (Brockmeier et al., 2002).
Ein wichtiger Risikofaktor für vermehrte respiratorische Erkrankungen beim Schwein ist laut Pointon et al. (1985) die Anzahl an Schweinen pro Stalleinheit. Sind mehr als 200 bis 300 Tiere im gleichen Luftraum untergebracht, erhöht dies das Risiko, dass Tiere in der Luft schwebende Teilchen, zu denen auch potentielle Krankheitserreger gehören können, einatmen. Auch die Anzahl der Tiere in einer Bucht scheint einen Einfluss auf die Lungengesundheit zu haben. Flesja und Ulvesaeter (1980) wiesen nach, dass bei mehr als zwölf Tieren pro Bucht die Prävalenz von Pneumonien steigt. Neben einer optimalen Belegdichte sollten Buchten zudem so gebaut sein, dass der direkte Kontakt zwischen Schweinen zweier Buchten vermieden wird, da sonst laut Pijoan (1986) eine Übertragung von Pathogenen im gesamten Stall erleichtert wird.
Auch schlechtes Stallklima trägt zur Entstehung von Lungenerkrankungen bei (Bäckström und Bremer, 1978; Kelley, 1985). Erhöhte Ammoniakwerte in der Stallluft beeinträchtigen die Funktion und Morphologie der luftleitenden Wege. Unter anderem wird dadurch die Zilientätigkeit, die für die Clearance der Lunge entscheidend ist, eingeschränkt (Drummond et al., 1978; Schuh, 2001; Soerensen et al., 2006).
Ammoniak entsteht durch den bakteriellen Abbau von Harnstoff aus dem Urin der Tiere. Besonders hohe Konzentrationen werden bei warmen Temperaturen und in

Haltungsformen erreicht, bei denen der Urin längere Zeit im Stall verbleibt. Eine ungenügende Belüftung trägt ebenfalls zum Konzentrationsanstieg dieses Schadgases in der Stallluft bei (Zentner et al., 2011). Demnach werden in Haltungsformen mit Zwangsbelüftung und Spaltenböden höhere Ammoniakwerte im Stall erreicht als dies beispielsweise bei Außenklimastellen der Fall ist.
Sowohl Konvektionswärmeverluste durch zu hohe Luftgeschwindigkeiten als auch zu geringer Luftaustausch durch zu niedrige Luftgeschwindigkeiten erhöhen das Risiko für Pneumonien zusätzlich (Büscher, 2013; Heinritzi, 2006). Zu tiefe Temperaturen im Stall (Curtis et al., 1976) schwächen die Abwehr der Lunge bei Ferkeln und auch zu starke Temperaturschwankungen (Done, 1991) innerhalb eines Tages belasten das Immunsystem der Tiere und fördern so die Infektion mit pathogenen Erregern.
Als weiterer Risikofaktor für Lungenerkrankungen wird falsches Management hinsichtlich der Einstallung neuer Tiere beschrieben. Eine kontinuierliche Belegung der Ställe kann Atemwegsinfektionen begünstigen (Cleveland-Nielsen et al., 2002). Im klassischen „Rein-Raus“-Verfahren dagegen werden Infektionsketten immer wieder durch Reinigung und Desinfektion unterbrochen und der Infektionsdruck durch ein zwischenzeitliches Leerstehen der Buchten reduziert (Zulovich, 2012). Des Weiteren führt der Zukauf von Schweinen aus verschiedenen Herkunftsbetrieben zu erhöhten Erkrankungszahlen im Schweinestall (Jorsal und Thomsen, 1988).

2.3.2.3 Befunderhebung am Schlachthof

2.3.2.3.1 Rechtliche Vorgaben

Die Untersuchung der Lungen von geschlachteten Schweinen findet im Rahmen der amtlichen Schlachttier- und Fleischuntersuchung statt. Diese ist im sogenannten „EU-Hygienepaket“ geregelt, das seit 1. Januar 2006 gilt. Es enthält folgende Verordnungen, die in allen EU-Ländern verbindlich gelten und die Sicherheit von Lebensmitteln gewährleisten sollen:

- Verordnung (EG) Nr. 852/2004
- Verordnung (EG) Nr. 853/2004
- Verordnung (EG) Nr. 854/2004

Spezielle Vorschriften für die Untersuchung von Schlachtschweinen finden sich vor allem in der Verordnung (EG) Nr. 854/2004. Diese enthält die „besonderen Vorschriften für die amtliche Überwachung von zum menschlichen Verzehr bestimmten Erzeugnissen tierischen Ursprungs“. Es wird besonders auf die Bedeutung der amtlichen Überwachungen für den Schutz der Gesundheit von Bevölkerung und Tieren sowie des Tierwohls verwiesen.

Dem amtlichen Tierarzt werden Überprüfungs- und Inspektionsaufgaben zugeteilt, die unter anderem die Schlachttier- und Fleischuntersuchung und die Überprüfung des Tierwohls beinhalten.
Die Fleischuntersuchung der Schlachtkörper und der zugehörigen Nebenprodukte, bei der alle äußeren Oberflächen begutachtet werden müssen, muss dabei unverzüglich nach der Schlachtung erfolgen. Die genaue Beschreibung der Arbeitsschritte der Untersuchung beim Hausschwein ist in Anhang I Abschnitt IV Kapitel IV Buchstabe B zu finden. Abschnitt II behandelt die sich an die Untersuchung anschließenden Maßnahmen wie die Erfassung, Beurteilung und Mitteilung der erhobenen Befunde durch den amtlichen Tierarzt (Anonymous, 2004).
Zusätzlich zum Hygienepaket existiert auf nationaler Ebene die Allgemeine Verwaltungsvorschrift Lebensmittelhygiene (AVV Lebensmittelhygiene - AVV LmH), die sich in Abschnitt 4 mit den Grundsätzen für die Schlachttier- und Fleischuntersuchung und dem Inverkehrbringen von Fleisch beschäftigt. Paragraph 8 legt fest, dass Veränderungen, die während der Fleischuntersuchung von Mastschweinen nach den Vorgaben der Verordnung (EG) Nr. 854/2004 festgestellt werden, nach einem in Anlage 3 enthaltenen Befundschema in Kategorien eingeteilt und erfasst werden müssen.
Die Befundkategorien für die Beurteilung der Lungen sind Tabelle 16 zu entnehmen. Die erhobenen Befunde jeder Schlachtcharge müssen zudem mithilfe eines Formblattes an den Herkunftsbetrieb gemeldet werden. Weiterhin sind in der AVV Lebensmittelhygiene Vorgaben zur Organisation und zu Untersuchungszeiten im Rahmen der Fleischuntersuchung zu finden (Anonymous, 2009a).

2.3.2.3.2 Möglichkeiten der Beurteilung

Neben dem oben beschriebenen Schema aus Anlage 3 der AVV Lebensmittelhygiene finden weltweit zahlreiche andere Schemata zur Beurteilung von Lungenveränderungen beim Schwein Anwendung.
In Frankreich ist das Bewertungsschema nach Malitte (1974) weit verbreitet (Leneveu et al., 2012). Es basiert auf der Beurteilung der einzelnen Lungenlappen, von denen jeder mit null bis vier Punkten bewertet werden kann (Tabelle 7). Je größer die geschädigte Lungenfläche ist, desto mehr Punkte werden vergeben (Malitte, 1974).

Tabelle 7: Schema zur Bewertung von Lungenveränderungen nach Malitte (1974)

Punktzahl/Lappen	Größe der Pneumonie-Läsion
0	Keine
1	Fläche der Läsion < 2€-Stück
2	Geschädigte Fläche zwischen 2€-Stück und ½ Lungenlappen
3	Geschädigte Fläche zwischen ½ und ¾ Lungenlappen
4	Geschädigte Fläche > ¾ Lungenlappen

<: kleiner als; >: größer als

Mit diesem Schema als Grundlage entwickelte sich ebenfalls in Frankreich ein weiteres Bonitursystem, das auf einer Beurteilung der gesamten Lungen anstatt einzelner Lappen beruht (Ifip Institute Du Porc, 2002). Es werden maximal vier Punkte pro Lunge vergeben (Tabelle 8).

Tabelle 8: Schema zur Bewertung von Lungenveränderungen nach Ifip Institute Du Porc (2002)

Punktzahl/Lunge	Größe der Pneumonie-Läsion
0	Keine
1	Fläche der Läsion ist kleiner als ein halber Lungenlappen
2	Geschädigte Fläche entspricht mind. einem Lungenlappen
3	Geschädigte Fläche entspricht mind. zwei Lungenlappen
4	Geschädigte Fläche ist größer als zwei Lungenlappen

mind.: mindestens

Auch Hannan et al. (1982) entwickelten eine eigene Methode zur Beurteilung von Lungenläsionen. Ihr Schema beruht ebenfalls auf dem Prinzip der Beurteilung der geschädigten Bereiche im Vergleich zu den gesunden Lungenarealen. Allerdings wird berücksichtigt, dass die kranialen Lungenlappen kleiner sind als die kaudalen. Hierfür wird erst der Anteil der betroffenen Fläche pro Lungenlappen geschätzt und dann jeder Lappen anhand dieses Verhältnisses mit Punkten von null bis fünf bewertet (Leneveu et al., 2012).

Später beschrieben Straw et al. (1986) in den USA ein anderes Bewertungsschema, das die verschiedenen Größen der einzelnen Lungenlappen ebenfalls besonders berücksichtigen soll. Dieses Schema wertet die kaudalen Lungenlappen mit jeweils 25 % und die restlichen Lappen mit jeweils 10 %. Anhand dieser Größenverhältnisse wird der Anteil an verändertem Gewebe in % des gesamten Lungengewebes geschätzt.

In Spanien wurde von Bollo et al. (2008) ein Punktesystem entworfen, das Lungenläsionen in Abhängigkeit des prozentualen Anteils des gesamten Lungengewebes beurteilt. Die niedrigste Punktzahl von null Punkten entspricht dabei einer geschädigten Fläche von weniger als 5 % des gesamten

Lungengewebes. Fünf Punkte bedeuten hingegen eine Läsion von mehr als 45 % der Lungenfläche. Dazwischen staffeln sich Abstufungen in 10 %-Schritten.
Christensen et al. (1999) gehen in Dänemark mit der Berücksichtigung der Größenunterschiede der einzelnen Lungenlappen noch weiter und nehmen an, dass die rechte Lungenhälfte deutlich größer und schwerer ist als die linke Hälfte. Sie werten den rechten kaudalen Lungenlappen mit 34 %, während sie dem linken kaudalen Lungenlappen 29 % zuweisen. Der rechte Mittellappen macht in diesem Schema 10 % aus, der linke 6 %. Der rechte Spitzenlappen wird mit 11 % mehr als doppelt so hoch gewertet wie der linke Spitzenlappen mit nur 5 %. Der akzessorische Lungenlappen wird mit den restlichen 5 % beurteilt.
Für jedes Prozent an veränderter Lungenfläche wird ein Bewertungspunkt vergeben, so dass eine Lunge umso schlechter bewertet wird, je mehr Punkte sie erhält (Ifip Institute Du Porc, 2002).
Das englische Bewertungssystem von Goodwin et al. (1965) arbeitet ebenfalls mit Punkten. Allerdings können hier nur maximal 55 Punkte vergeben werden, da der mediale Bereich der kaudalen Lungenlappen nicht für die Beurteilung herangezogen wird und so nur 55 % der gesamten Lungenfläche bewertet werden.

2.3.2.3.3 Prävalenz

Die Prävalenz von Lungenveränderungen wurden in den letzten Jahrzehnten in zahlreichen Studien untersucht. Eine Übersicht über die Ergebnisse zeigt Tabelle 9. Auffällig ist die große Spannweite der Ergebnisse.
Die niedrigste Prävalenz von 2,7 % wurde in der Studie von Rieper (2013) ermittelt, die im Rahmen der amtlichen Fleischuntersuchung an einem Schlachthof 649.923 Schlachtkörper von Schweinen untersuchte. Erfasst wurden hierbei Pneumonien mit „mittel- und hochgradiger Ausprägung“, die allerdings nicht weiter definiert wurde.
Die höchste Prävalenz wurde von Wallgren et al. (1994) mit 93,4 % erfasst. Die Untersuchung von 4.508 Schweinelungen nach der Schlachtung ergab bei 4.210 Lungen Läsionen. Ein Vergleich der Daten ist allerdings schwierig, da für die Studien zum Teil verschiedene Bewertungsschemata und -kriterien verwendet wurden.

Tabelle 9: Prävalenzen von am Schlachthof erfassten Lungenveränderungen

Prävalenz (%)	n	Land	Quelle
21,6	1.000	GB	Edwards et al. (1971)
13,2	256.000	N	Flesja und Ulvesaeter (1979)
37,0	15.409	Can	Osborne et al. (1981)
77,0	8.000	DDR	Bennewitz (1982)
46,1	17.433	D	Lienemann et al. (1991)
18,1	1,8 Mio	NL	Harbers et al. (1992)
77,9	1.158	A	Köfer et al. (1993)
34,2	6.739	CH	Wunderli und Lenzinger (1993)
93,4	4.508	S	Wallgren et al. (1994)
26,6	8.740	D	Wittmann et al. (1995)
61,6	62.728	D	Mählmann (1996)
42,7	19.417	D	Vogt (1996)
50,3	584.778	D	Bostelmann (2000)
54,4	k. A.	D	Bremermann (2001)
58,0	k. A.	USA	Brockmeier et al. (2002)
46,0	11.950	D	Minkus (2003)
41,5	50.524	D	Sundrum et al. (2004)
8,2	24.426	CH	De Vries (2010)
2,7	649.923	D	Rieper (2013)
77,0	8.737	D	Pill (2014)
8,8	24.276	CH	Sidler et al. (2015)

n: Anzahl untersuchter Lungen, k. A.: keine Angabe, Mio: Millionen, A: Österreich, Can: Canada, CH: Schweiz, D: Deutschland, DDR: Deutsche Demokratische Republik, GB: Großbritannien, N: Norwegen, NL: Niederlande, S: Schweden, USA: Vereinigte Staaten von Amerika

2.3.2.3.4 Bedeutung

Lungenveränderungen beim Schwein sind während der amtlichen Fleischuntersuchung am Schlachthof ohne großen Mehraufwand erfassbar. Diese Daten können dann als Indikator für den Gesundheitsstatus und die hygienischen Verhältnisse im Herkunftsbetrieb herangezogen werden (Aalund et al., 1976; Blaha und Blaha, 1995). Dass die Prävalenz von Lungenschäden, die am Schlachthof detektiert werden, mit Faktoren wie Haltungsbedingungen, Management und Herdengesundheit zusammenhängt, belegen diverse Studien (Aalund et al., 1976; Bäckström und Bremer, 1978; Funke, 2009).

Werden die am Schlachthof erhobenen Daten an den liefernden Betrieb zurück gemeldet, können Landwirt und behandelnder Tierarzt daraus auf mögliche subklinische Erkrankungen im Bestand schließen und Gegenmaßnahmen einleiten (Mählmann, 1996). Dies kann dazu beitragen, die Haltungssituation, die Gesundheit und damit auch das Tierwohl der zukünftig in diesem Betrieb gehaltenen Tiere zu verbessern (Blaha et al., 2007). Zudem kann anhand der Lungenbefunde auch die Wirksamkeit bereits eingeleiteter Verbesserungsmaßnahmen überprüft werden (Schröder, 1994).

Weitere Bedeutung haben die Lungenbefunde neben dem Tierschutzaspekt auch für die Wirtschaftlichkeit einer Schweinemast. Respiratorische Erkrankungen im Bestand führen zu geringerer Futteraufnahme, verminderten täglichen Zunahmen, niedrigerem Schlachtgewicht, erhöhten Behandlungskosten und mehr Verwurf am Schlachthof, was wirtschaftliche Verluste für den betreffenden Betrieb nach sich zieht (Flesja und Ulvesaeter, 1980; Hammel und Blaha, 1993; Minkus, 2003; Straw et al., 1990).
Zuletzt muss auch noch die Bedeutung der Lungengesundheit für den Bereich der Lebensmittelsicherheit und der Fleischqualität erwähnt werden. Fehlhaber et al. (1992) zeigten, dass Lungenveränderungen zu einem vermehrten Nachweis von Bakterien in Organen und Fleisch führen. Dies begründeten die Autoren vor allem mit einem geschwächten Immunsystem und vermehrtem Stress bei kranken Tieren. Beide Faktoren führen dazu, dass Enterobakterien verstärkt durch die Darmwand gelangen können.
Minkus (2003) stellte zudem fest, dass das Fleisch von Schweinen mit hochgradigen Lungenveränderungen eine Fleischreifung zeigte, die sich deutlich in Richtung DFD-Fleisch („Dark Firm Dry“) verschob. Weiterhin belegten Wittmann et al. (1995), dass Erkrankungen der Lunge zu signifikanten Unterschieden im Schlachtgewicht führen.

2.3.3 Stress- und Entzündungsmarker

Im Zuge der Beurteilung von Tiergesundheit und Tierwohl stellt sich häufig die Frage nach vorhandenen Schmerzen bei den untersuchten Tieren. Schmerz ist jedoch eine subjektive Empfindung und kann deshalb nicht direkt gemessen werden (Backryd, 2015). Hinzu kommt, dass Schweine als Beutetiere kein ausgeprägtes Schmerzverhalten zeigen (Viñuela-Fernández et al., 2007). Insofern kann das Vorhandensein und die Intensität von Schmerzen bei Schweinen nur indirekt über verschiedene physiologische Parameter wie Stress- oder Entzündungsmarker gemessen werden (Hay et al., 2003; Molony und Kent, 1997; Morton und Griffiths, 1985).
Laut Mellor und Stafford (2004) existiert eine schmerzinduzierte Stressantwort, was bedeutet, dass Schmerzen immer mit einer endokrinen Stressreaktion des Körpers einhergehen, die sich anhand von Stressmarkern messen lässt. Auch Henke und Erhardt (2001) empfehlen, bei der Bewertung von Schmerzen Stressparameter einzubeziehen. Geeignet ist hierfür bei Tieren neben den Katecholaminen Adrenalin und Noradrenalin vor allem das Stresshormon Cortisol (Molony und Kent, 1997; Prunier et al., 2005; Robertson et al., 1994).
Cortisol ist beim Schwein ebenso wie bei den meisten anderen Säugetieren und dem Menschen das vorherrschende Glucocorticoid und wird in der Nebennierenrinde produziert (Thun und Schwartz-Porsche, 1994). Es wird nicht

kontinuierlich, sondern episodisch sezerniert. Zusätzlich unterliegt es einer circadianen Rhythmik, was dazu führt, dass vor allem morgens hohe Konzentrationen, abends hingegen niedrigere Werte gemessen werden (Evans et al., 1988). Diese Rhythmik wird wiederum vom Alter, dem Geschlecht, dem Stresszeitpunkt, der Tageslichtlänge, der Haltungsform und chronischem Stress beeinflusst (Barnett et al., 1981; De Jong et al., 2000; Ruis et al., 1997). Hinzu kommen jahreszeitliche Schwankungen mit niedrigeren Werten in den Sommermonaten (Bacci et al., 2014).

Bei einer Stresssituation wird, von der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse reguliert, innerhalb weniger Minuten zusätzliches Cortisol ausgeschüttet (Carpenter und Gruen, 1982). Die maximale Serum-konzentration wird jedoch erst zeitlich verzögert nach bis zu 30 Minuten erreicht (Geverink et al., 1999). Anschließend fällt die Konzentration wieder rasch auf ihr Basalniveau ab. Die Halbwertszeit liegt zwischen einer und zwei Stunden (Huber, 2015; Thun und Schwartz-Porsche, 1994).

Eine Erhöhung der Serumkonzentration kann allerdings nicht nur bei Schmerzen, sondern auch durch andere Stressoren ohne Schmerzbeteiligung wie Transport oder Fixation sowie durch Medikamente ausgelöst werden (Neubert et al., 1996; Roozen et al., 1995; Von Borell, 2001).

Da Schmerz eines der Kardinalsymptome von Entzündungen darstellt, können auch Entzündungsparameter wie das C-reaktive Protein (CRP), ein während der Akute Phase Reaktion des Körpers ausgeschüttetes Eiweiß, neben Informationen über ablaufende Entzündungsreaktionen auch eine Einschätzung des Schmerzgeschehens ermöglichen (Baumgärtner und Gruber, 2015).

2.3.3.1 Akute Phase Reaktion

Die Akute Phase Reaktion (APR) ist ein Teil der unspezifischen Immunabwehr des Körpers, mit der er unter anderem auf bakterielle, toxische oder traumatische Stimuli reagiert (Ebersole und Cappelli, 2000; Kushner, 1982). Sie geht klinisch mit Fieber, Schmerz, Leukozytose, Granulozytose, beschleunigter Blutsenkung, Anstieg des Proteinkatabolismus, Glukoneogenese und dem Anstieg der sogenannten Akute Phase Proteine (APPs) einher (Andus et al., 1989; Koj, 1985; Sipe et al., 1979). Es werden vermehrt Zytokine wie Interleukin-1ß, Interleukin-6 und der Tumor-Nekrose-Faktor α gebildet, die wiederum die Bildung der APPs in der Leber stimulieren (Andus et al., 1989; Castell et al., 1989; Chen et al., 2003; Gauldie et al., 1987).

Bei den Akute Phase Proteinen wiederum handelt es sich um eine Gruppe von Proteinen, deren Serumspiegel sich im Blut, abhängig von endogenen und exogenen Einflüssen wie Stress, Infektionen, Entzündungen oder Traumata ändert. Die Höhe des Serumspiegels hängt dabei von der Schwere und dem Ausprägungsgrad des vorliegenden Gewebeschadens ab (Murata et al., 2004).

Piñeiro et al. (2007), Salamano et al. (2008) und Murata et al. (2004) konnten außerdem zeigen, dass auch nicht entzündliche Ursachen wie Stress durch Transport, eine neue Umgebung oder soziale Isolation zum Anstieg von APPs führen können.

Steigt die Konzentration eines der APPs im Blut nach einem entzündlichen Reiz an, spricht man von einem positiven Akute Phase Protein. Sinkt er dagegen ab, wird von einem negativen Akute Phase Protein gesprochen (Eckersall und Bell, 2010; Murata et al., 2004; Petersen et al., 2004). Die positiven APPs werden zusätzlich anhand der Höhe ihres Konzentrationsanstieges noch in „major acute phase proteins“ (100 bis 1000facher Anstieg), „moderate acute phase proteins“ (fünf- bis zehnfacher Anstieg) und „minor acute phase proteins“ (ein- bis zweifacher Anstieg) unterteilt (Eckersall und Bell, 2010). Zu den positiven APPs gehören Serum Amyloid A, Haptoglobin und C-reaktives Protein. Albumin und Transferrin werden dagegen zu den negativen APPs gerechnet (Kushner, 1982; Murata et al., 2004).

2.3.3.2 C-reaktives Protein

Beim dem C-reaktiven Protein handelt es sich um ein zur Familie der Pentaxine gehörendes Eiweißmolekül, das eine planare, pentagonale Struktur zeigt (Osmand et al., 1977). Tillett und Francis (1930) konnten es zum ersten Mal 1930 bei an Pneumokokken-Pneumonie erkrankten Menschen nachweisen. Das CRP wird vorrangig in der Leber synthetisiert (Hurlimann et al., 1966), Kuta und Baum (1986), Dong und Wright (1996) und Murphy et al. (1991) beschrieben zusätzlich eine extrahepatische Synthese in geringem Maße , die durch Lymphozyten, Monozyten und Alveolarmakrophagen erfolgt.

Dem CRP werden viele unterschiedliche Funktionen zugeschrieben. Unter anderem aktiviert es das Komplementsystem (Kaplan und Volanakis, 1974), hat opsonierende Wirkung (Hokama et al., 1962), optimiert die Phagozytose (Kilpatrick et al., 1987), moduliert die Blutgerinnung (Fiedel und Gewurz, 1976), hat membranprotektive Wirkung (Filep und Földes-Filep, 1989) und unterstützt die Abwehrmechanismen der Lunge (Dong und Wright, 1996).

Im humanmedizinischen Bereich wird CRP seit Jahrzehnten als zuverlässiger Parameter zum Nachweis von inflammatorischen Reaktionen und Gewebezerstörung verwendet (Okamura et al., 1990). Es wird zur Differenzierung von bakteriell und viral bedingten Infektionen und wegen seiner kurzen Halbwertszeit von etwa vier Stunden auch zur Kontrolle des Therapiefortschrittes genutzt (Buess und Ludwig, 1995; Shaw, 1991).

Auch in der Tiermedizin wird CRP zunehmend zur Diagnosefindung verwendet. So zählt es Eckersall et al. (1996) zum Beispiel zu den aussagestärksten APPs beim Schwein, da in Untersuchungen der Serumspiegel innerhalb von zwei Tagen um das Achtfache anstieg und nach sechs Tagen wieder Normalwerte erreichte.

Bürger et al. (1998) halten CRP für einen geeigneten Parameter zur Erfassung des allgemeinen Gesundheitszustandes und des Stresslevels. Die Serumkonzentration des CRP korreliert mit dem Ausmaß von Verletzungen, Stress und Erkrankungen wie Pleuropneumonien und Arthritiden (Bürger et al., 1992; Chen et al., 2003; Pallares et al., 2008; Yamamoto et al., 1993). In Untersuchungen von Scott et al. (2006) stellte sich zudem heraus, dass Schweine, die auf Vollspaltenböden gehalten wurden, höhere CRP-Konzentrationen aufwiesen als Tiere, die aus Strohhaltung stammten. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Gareis et al. (2016). In diesen Untersuchungen zeigten Schweine aus ökologischer Haltung niedrigere CRP-Konzentrationen als Tiere aus konventionellen Mastställen. Weiterhin fiel auf, dass die Serumspiegel des CRP bei Tieren ohne akzessorische Bursen signifikant geringer waren als bei Schweinen mit mehr als drei Zentimeter großen akzessorischen Bursen.

2.4 Schlachtkörper- und Fleischqualität

Für die Schlachtkörperqualität spielen unter anderem das Verhältnis von Fleisch und Fett, der Anteil an verkaufsfähigem Fleisch sowie die Ausprägung der Muskulatur eine wichtige Rolle. Das größte Augenmerk liegt hier auf dem relativen Magerfleisch- bzw. Muskelanteil (MFA) und der Schlachtkörperwarmmasse. Diese Komponenten stellen das bestimmende Maß für den Wert eines Schlachtkörpers dar (Kallweit, 1994; Wähner, 2013).

Zur Bewertung der Qualität werden die Schlachtkörper von Mastschweinen verschiedenen Handelsklassen zugeordnet, die in Tabelle 10 genauer beschrieben werden. Die Einteilung erfolgt hierbei nach der Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung (SchwHKlV) anhand des MFA (Wähner, 2013). Weiterhin werden Schlachtkörper nach der Schnittführung der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (Scheper und Scholz, 1985) in Teilstücke unterteilt, deren Qualität wiederum unterschiedlich gewertet wird. Beim Schwein zählen besonders Schinken, Kotelett, Bug, Kamm, Lende und der Bauch zu den wertvollen Stücken (Wähner, 2013).

Die Fleischqualität, welche die Schlachtkörperqualität ebenfalls beeinflusst, ist recht vielschichtig und setzt sich laut Hofmann (1973) aus zahlreichen Faktoren zusammen. Er beschreibt die Fleischqualität als Summe sensorischer, ernährungsphysiologischer, hygienisch-toxikologischer und verarbeitungs-technologischer Eigenschaften. Diese schließen Parameter wie Aussehen, Aroma, Textur, Nährwert, mikrobiologische Belastung, Rückstände, Wasserbindungs-vermögen und pH-Wert mit ein.

Scharner (1997) und Hofmann (1992) unterscheiden zwei Qualitätsformen - die Qualität im Sinne von Güte und die Qualität im Sinne von Beschaffenheit. Bei ersterer handelt es sich um eine subjektive Einschätzung des Menschen, die sich

nach den zu Grunde liegenden Idealen unterscheiden kann. Bei der Qualität im Sinne der Beschaffenheit handelt es eher um eine Bewertung der Eigenschaften und Merkmale des beurteilten Produktes anhand von objektiv messbaren Kriterien.

2.4.1 Möglichkeiten der Beurteilung

Zur Beurteilung des Wertes eines Schlachtkörpers werden die Merkmale Schlachtkörperwarmmasse und der prozentuale Muskelfleischanteil erfasst (Lengerken et al., 2007). Für die möglichst frühe Beurteilung der Fleischqualität am Schlachthof eignen sich die Messung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit (van Oeckel et al., 1997; von Wenzlawowicz, 1994).

2.4.1.1 Schlachtgewicht

Die Schlachtkörpermasse „warm“, häufig auch einfach Schlachtgewicht genannt, bezeichnet das Warmgewicht des längsgeteilten ausgeweideten Schlachtkörpers in Kilogramm ohne Zunge, Geschlechtsorgane, Rückenmark, Brust- und Bauchhöhlenorgane, Flomen, Nieren, Zwerchfell, Zwerchfellpfeiler und Gehirn (Lengerken et al., 2007; Müller und Braun, 2017). Sie wird durch ein Verwiegen der Schweine spätestens 45 Minuten nach dem Stechen bestimmt, wie es in der 1. Fleischgesetz-Durchführungsverordnung vorgeschrieben ist. In Deutschland betrug es in den letzten Jahren beim Mastschwein im Durchschnitt zwischen 92 kg und 94 kg (Destatis, 2018a).

2.4.1.2 Muskelfleischanteil

Der Muskelfleischanteil (MFA) umfasst das relative Gewicht der Skelettmuskulatur bezogen auf das Schlacht- bzw. das Hälftengewicht. Als Grundlage für seine Bestimmung dient die grobgewebliche Zerlegung. Je nach Genotyp, Geschlecht, Alter, Gewicht, Fütterung und Haltungs- bzw. Mastverfahren variiert der MFA des Mastschweines zwischen 48 % und 63 % (Wähner, 2013).

Für die Klassifizierung der Schlachtkörper in Handelsklassen nach dem in der SchwHKlV verankerten SEUROP-Schema (Tabelle 10) werden in der Praxis häufig Sondenmessgeräte verwendet, die den Muskelfleischanteil auf Basis des Speck- und Fleischmaßes sieben Zentimeter seitlich der Mittellinie auf Höhe der zweit- oder drittletzten Rippe erfassen. Als zugelassene Geräte stehen unter anderem das Fat-O-Meater und das Hennessy-Grading-System (HGP 4) zur Auswahl. Mit ihren ins Gewebe eingestochenen Sonden werden Reflexionsmessungen vorgenommen, die eine Unterscheidung von Fett- und Muskelgewebe ermöglichen (Littmann et al., 2006; Müller und Braun, 2017). Mithilfe einer in der SchwHKlV festgelegten Formel wird der MFA anschließend errechnet.

Neben den Sondenmessgeräten existieren auch Messverfahren auf Basis einer Ultraschallmessung. Bei diesen Verfahren werden die Schweine auf dem Rücken

liegend über einen Messtisch mit mehreren Ultraschallköpfen gezogen. Anhand der Einzelmessungen an verschiedenen Stellen wird der MFA der Teilstücke und des gesamten Schlachtkörpers erfasst. Nach der Messung des Schlachtgewichtes können die Gewichte der Teilstücke in Kilogramm errechnet werden (Littmann et al., 2006).

Tabelle 10: Handelsklassen von Schweineschlachtkörpern nach SchwHKlV (Schlachtgewicht von 50 bis 120 kg)

Handelsklasse	Muskelfleischanteil
S	Über 60 %
E	55 % bis unter 60 %
U	50 % bis unter 55 %
R	45 % bis unter 50 %
O	40 % bis unter 45 %
P	Unter 40 %

2.4.1.3 pH-Wert

Als pH-Wert definiert man den negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration. Im Muskel lebender Schweine liegt er bei etwa 7,0 bis 7,2 (Hofmann, 1987; Honikel, 2007).

Auf Grund der durch die Schlachtung unterbrochenen Blutversorgung gelangen weder Sauerstoff noch aus der Nahrung gewonnene Kohlenhydrate, Eiweiße oder Fette in die Muskulatur. Die aerobe Energiegewinnung auf Basis dieser Energielieferanten, wie sie beim lebenden Schwein stattfindet, ist nicht mehr möglich. Das in den Muskeln enthaltene Glykogen, eine Speicherform für Kohlenhydrate, wird nach der Schlachtung als letzte Energiereserve der Muskulatur im Rahmen der Glykolyse abgebaut. Dabei entsteht der Metabolit Laktat, der auf Grund der unterbrochenen Blutzirkulation nicht mehr abtransportiert oder umgewandelt werden kann, sich im Muskel anhäuft und dort zu einer temperatur- und zeitabhängigen Absenkung des pH-Wertes führt (Binke, 2003). Beim Schwein werden im Normalfall nach acht bis zehn Stunden Endwerte zwischen 5,4 und 5,6 erreicht (Honikel, 2007; Littmann et al., 2006).

Mithilfe des pH-Wertes kann also der Verlauf und der Grad der Fleischsäuerung und Fleischreifung erfasst werden (Fischer und Augustini, 1977). Entscheidend ist hierbei die Geschwindigkeit des pH-Abfalles. Um eine abweichende Fleischreifung und somit Qualitätsmängel festzustellen, ist es notwendig, 45 Minuten und 24 Stunden nach der Schlachtung zu messen. Die erste Messung dient dabei dem Erkennen von beschleunigter Glykolyse, welche sogenanntes PSE-Fleisch („pale“, „soft“, „exudative“) verursacht, während die zweite Messung zur Erfassung von verzögerter Glykolyse und DFD-Fleisch („dark“, „firm“, „dry“) herangezogen wird (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2002). Die Beschreibung dieser

Fleischqualitätsmängel folgt in Kapitel 2.4.2 „Qualitätsabweichungen“. Grenzwerte normaler und abweichender Fleischreifung, die zur Beurteilung der Fleischqualität herangezogen werden können, sind Tabelle 11 zu entnehmen.

Tabelle 11: Grenzwerte zur Beurteilung der Fleischqualität bei Schweinen anhand des pH-Wertes nach Schmitten et al. (1989)

Messzeitbereich	Merkmal	Qualitätsklasse			
		Gut	Mittel	Mangelhaft PSE	Mangelhaft DFD
40 - 50 min p.m.	pH_{45}	> 5,8	5,6 - 5,8	< 5,6	-
24 h p.m.	pH_{24}	-	-	-	≥ 6,2

<: kleiner als, >: größer als, ≥: größer oder gleich, h: Stunden, min: Minuten, p.m.: nach dem Tod (lat.: post mortem), PSE: pale, soft, exudative, DFD: dark,firm,dry

Zwar vertreten einige Autoren wie Lütjens und Kalm (1995) die Ansicht, dass sensorische Eigenschaften nur teilweise von physikalischen Messmethoden erfasst werden können. Sie stellten aber fest, dass die Messung des pH-Wertes die höchste Korrelation mit später erfassten sensorischen Merkmalen zeigte. Hofmann (1987) beschrieb einen direkten und indirekten Einfluss des pH-Wertes auf die Farbe, die Zartheit, das Wasserbindungsvermögen und die Haltbarkeit von Fleisch.

Für die Messungen wird in der Praxis üblicherweise ein pH-Meter mit Glaselektrode verwendet (Honikel, 2007). Als Messpunkte beschreibt die AVV LmH den Musculus (M.) longissimus dorsi zwischen dem Dornfortsatz des 13. und 14. Brustwirbels sowie den M. semimembranosus circa 5 cm vom kaudalen Ende der Beckensymphyse mit Einstich im 120 °-Winkel.

2.4.1.4 Elektrische Leitfähigkeit

Medien, in denen Ladungsträger sich frei bewegen können, sind in der Lage, elektrischen Strom zu leiten. Die elektrische Leitfähigkeit hängt dabei von Faktoren wie dem Widerstand, dem Leitwert, der Länge und dem Querschnitt des Leiters ab. Die gemessene Leitfähigkeit wird in Millisiemens pro Zentimeter (mS/cm) angegeben (Feldhusen et al., 1987; Honikel, 2007).

In intaktem Muskelgewebe lebender Tiere ist nur eine geringe elektrische Leitfähigkeit messbar, da die Zellmembranen einen Ionenfluss größtenteils verhindern. Nach dem Tod und dem endgültigen Erschöpfen der Energiereserven beginnen sich die Zellmembranen, abhängig von der im Muskel vorliegenden Temperatur und dem pH-Wert, aufzulösen und die Leitfähigkeit nimmt zu (Honikel, 2007). Diese kann dann als Maß für die postmortal ablaufenden Veränderungen im Muskelgewebe und zur Unterscheidung von PSE- und Normalfleisch herangezogen werden (Honikel, 2007; Wähner, 2013).

Es wurde versucht, allgemein geltende Grenzwerte der elektrischen Leitfähigkeit zu definieren, mit deren Hilfe die Fleischqualität bewertet werden kann. Tabelle 12 zeigt die von Schmitten et al. (1989) beschriebene Einstufung.

Tabelle 12: Grenzwerte zur Beurteilung der Fleischqualität beim Schwein anhand der elektrischen Leitfähigkeit nach Schmitten et al. (1989)

Messzeitbereich	Merkmal	Qualitätsklasse			
		Gut	Mittel	Mangelhaft PSE	Mangelhaft DFD
40 - 50 min p.m.	LF40 [mS/cm]	≤ 4,3	4,4 - 8,2	≥ 8,3	-
	LF50 [mS/cm]	≤ 4,8	4,9 - 9,7	≥ 9,8	-
24 h p.m.	LF24 [mS/cm]	≤ 7,8	7,9 -9,7	≥ 9,8	-

≤: kleiner oder gleich, ≥: größer oder gleich, h: Stunden, LF: elektrische Leitfähigkeit, LF40: Leitfähigkeit 40 min nach dem Tod, LF24: Leitfähigkeit 24 Stunden nach dem Tod, mS: Millisiemens, min: Minuten, p.m.: nach dem Tod (lat.: post mortem), PSE: „pale, soft, exudative“, DFD: „dark, firm, dry“

Für die Messung stehen verschiedene Geräte zur Verfügung, deren zwei Elektrodenspitzen ins Gewebe eingestochen werden müssen. Als Messstelle wird, wie auch bei der pH-Messung, der M. longissimus dorsi zwischen dem 13. und 14. Brustwirbel herangezogen. Messungen, die 40 bis 50 min nach der Schlachtung erfolgen, erfassen nur hochgradige Qualitätsabweichungen. Für eine sichere Aussage bezüglich der späteren Fleischqualität sollte 24 h post mortem gemessen werden (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2002).

2.4.2 Qualitätsabweichungen

2.4.2.1 PSE-Fleisch

PSE-Fleisch ist durch seine typischen Eigenschaften „pale“, „soft“ und „exudative“ charakterisiert, was blass, weich und exsudativ/wässrig bedeutet. Diese Abweichung in der Qualität kommt durch eine beschleunigte Glykolyse im Muskel zustande. Durch die dabei entstehende Wärme in Verbindung mit dem absinkenden pH-Wert kommt es zur Denaturierung sarkoplasmatischer Proteine, was zu der typischen strukturlosen Beschaffenheit, dem erhöhten Tropfsaftverlust, der reduzierten Zartheit nach dem Garen und der blassrosa Farbe des PSE-Fleisches führt (Lengerken et al., 2007).

Ursächlich für die Entstehung können viele Faktoren sein. Große Erregung vor der Schlachtung, starke Muskelkontraktionen während der Betäubung, genetisch bedingte Stresslabilität, starke Fleischfülle, hoher Anteil an weißen Muskelfasern oder ein Energiedefizit durch zu langen Futterentzug können sich prädisponierend

auf eine Qualitätsabweichung in Richtung PSE auswirken (Lengerken et al., 2007; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2002; Sielaff, 1996).
Zur Erfassung von PSE-Fleisch am Schlachthof kann die Messung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit herangezogen werden (Lengerken et al., 2007). Eine zusammenfassende Übersicht über mögliche Grenzwerte zur Einschätzung der Fleischqualität liefert Tabelle 13.

2.4.2.2 DFD-Fleisch

Zur Ausbildung von DFD-Fleisch („dark“, „firm“, „dry“) kommt es meistens dann, wenn vor der Schlachtung bereits alle Energiereserven in Form von Glykogen verbraucht sind. Dies kann durch länger anhaltende physische Belastungen und Erschöpfungszustände, Stress oder lange Phasen ohne Futter der Fall sein und führt dazu, dass nach der Schlachtung kaum noch Laktat gebildet werden kann und der pH-Wert langsamer und weniger weit als normal abfällt (Kallweit et al., 1988; Lengerken et al., 2007; Thiemig et al., 1997).
Das Ergebnis ist ein festes, trockenes, dunkles Fleisch mit geschlossener Mikrostruktur, hohem Wasserbindungsvermögen, fadem Geschmack und verringerter Haltbarkeit (Lengerken et al., 2007; Potthast und Hamm, 1976).
Zur Überprüfung auf DFD-Fleisch eignet sich vor allem die Messung des pH-Wertes 24 Stunden post mortem. Liegt der pH-Wert zu diesem Zeitpunkt über 6,2, gilt das Vorliegen von DFD laut Lengerken et al. (2007) und AVV LmH als bestätigt (s. Tabelle 13).

Tabelle 13: Messmethoden und Grenzwerte zur Einschätzung der Fleischqualität, modifiziert nach Lengerken et al. (2007)

Methode	Zeit (p.m.)	Normalfleisch	PSE-Fleisch	DFD-Fleisch
pH-Wert	45 min	> 5,8	< 5,8	-
	24 h	< 5,8	-	> 6,2
Leitfähigkeit [mS/cm]	2 h	< 4,0	> 4,5	-
	24 h	< 5,0	> 7,0	-

<: kleiner als, >: größer als, min: Minuten, p.m.: nach dem Tod (lat.: post mortem), h: Stunden, mS: Millisiemens, cm: Zentimeter, DFD: dark, firm, dry, PSE: pale, soft, exudative

2.4.3 Einflussfaktoren

Die Fleischqualität beim Schwein wird sowohl von endogenen Faktoren wie der Rasse, der Stressanfälligkeit oder dem Magerfleischanteil als auch von exogenen Faktoren wie Haltung, Transport, Schlachttechnologie und Lagerung beeinflusst (Hofmann, 1987; Schwägele et al., 1990; Wähner, 2013).

2.4.3.1 Genetik

Die Schweinerasse und der Genotyp hinsichtlich des Malignen-Hyperthermie-Syndroms (MHS) spielen eine wichtige Rolle für die Qualität des Schlachtkörpers im Allgemeinen und des Fleisches im Speziellen. Es besteht hierbei ein deutlicher Zusammenhang mit dem intramuskulären Fettgehalt, der bei Rassen mit schwächerer Ausprägung der Muskulatur, beispielsweise Edelschweinen, meist höher ausfällt als bei muskelbetonten Rassen wie Piétrain (Glodek et al., 1994; Scholz und Hardge, 1994; Wähner, 2013).

Daneben führte die gezielte Selektion auf starke Fleischfülle in der Schweinezucht auch zu einer Selektion von Schweinen mit einer Ryanodinrezeptorvariante, die einen veränderten Muskelstoffwechsel bedingt. Diese Tiere sind prädisponiert für das sogenannte Maligne-Hyperthermie-Syndrom, eine Belastungsmyopathie (Reiner, 2015). Bei diesen MHS-positiven Tieren kommt es unter Stresseinfluss zu einem unkontrollierten Einstrom von Kalzium in das sarkoplasmatische Retikulum und damit zu starken Muskelkontraktionen und beschleunigtem Glykogenabbau (Bickhardt, 1988). Aufgrund des erhöhten Energieverbrauches und des relativen Sauerstoffmangels der hypertrophen Muskelfasern entwickeln sich ein anaerober Muskelstoffwechsel, anhaltender Rigor, Hyperthermie, Laktatazidose und schließlich eine Muskelfaserdegeneration, die eine Verschlechterung der Fleischqualität und ein vermehrtes Auftreten von PSE nach sich ziehen (Bickhardt, 1988; Claus, 1996; Lengerken et al., 2007; Reiner, 2015).

Bei der Stresslabilität durch MHS können drei Genotypen unterschieden werden, abhängig davon, ob das MHS-Gen homozygot (n/n), heterozygot (N/n) oder überhaupt nicht (N/N) vorliegt (Fujii et al., 1991). Tiere mit heterozygotem oder nicht vorkommendem MHS-Allel gelten in der Zucht als stressstabil (Lengerken et al., 2007).

Glodek et al. (1994) untersuchten die Verteilung der Genotypen bei verschiedenen Rassen. Diese Studie ergab, dass das Deutsche Edelschwein am wenigsten stressanfällig ist, ähnlich dem Deutschen Sattelschwein und der Rasse Duroc. Die Rasse Piétrain, welche in der Schweinezucht oft als Vaterrasse dient, war zwar am fleischreichsten, zeigte aber die schlechteste Fleischbeschaffenheit und den höchsten Anteil an PSE-Fleisch.

Durch die Kreuzung verschiedener Rassen wie der Mutterrassen Deutsche Landrasse und Deutsches Edelschwein mit den Vaterrassen Piétrain oder Hampshire kann jedoch eine gute Schlachtkörper- und Fleischqualität erreicht werden. Dabei sollen die Mutterrassen einen möglichst großen Rahmen, gute Fruchtbarkeit und hohe Stressresistenz vererben, während die Vaterrassen für gute Schlachtleistungen, einen hohen Magerfleischanteil und eine starke Ausprägung wertvoller Teilstücke sorgen (Lengerken et al., 2007; Littmann et al., 2006).

Wie oben erwähnt, haben besonders fleischreiche Schweine allerdings gleichzeitig einen geringeren intramuskulären Fettgehalt, was sensorisch einen verminderten Genusswert nach sich zieht (Claus, 1996; Kirchheim et al., 1997). Außerdem wirkt sich laut Lengerken et al. (2007) die Fleischfülle aufgrund der Muskelhypertrophie negativ auf die Fleischqualität aus, was durch die relativ niedrige Sauerstoffversorgung der dicken Muskelfasern verursacht wird.

2.4.3.2 Haltung

Laut Augustini et al. (1982) kann durch die Gestaltung und die Größe eines Stalles Einfluss auf die Aktivität von Schweinen und damit auf die Fleischqualität genommen werden. In ihren Untersuchungen ließen die pH-Werte von auf Stroh gehaltenen Tieren im Vergleich zu auf Spaltenböden gehaltenen Tieren signifikant seltener auf PSE-Fleisch schließen.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch Jaturasitha (1996). Sie verglich ebenfalls Schweine aus konventionellen und ökologischen Haltungsformen. Bei den ökologisch gehaltenen Tieren traten 15 % weniger PSE-Auffälligkeiten auf. Fleisch von im Freiland geborenen und gehaltenen Schweinen wurde zudem in Studien von Gentry et al. (2004) sensorisch besser bewertet. Bremermann (2001) stellte bei im Freiland gemästeten Tieren im Vergleich zu im Stall gehaltenen Schweinen einen niedrigeren Muskelfleischanteil und eine damit verbundene schlechtere Handelsklasse fest.

Zahlreiche andere Autoren konnten hingegen keinen Zusammenhang zwischen Haltung und Fleischbeschaffenheit, die anhand von pH-Wert, Safthaltevermögen oder Fleischfarbe bestimmt wurde, feststellen (Gentry et al., 2004; Geverink et al., 1999; van der Wal, 1993).

2.4.3.3 Gesundheit

Einige Untersuchungen beschäftigten sich mit dem Einfluss der Gesundheit auf die Schlachtkörperqualität. Die Autoren beschrieben eine schlechtere Mast- und Schlachtleistung bei Tieren, die Symptome einer Erkrankung aufwiesen (Blaha und Blaha, 1995; Doedt et al., 1996).

Wittmann et al. (1995) stellten beispielsweise bei Tieren mit Veränderungen am Atemtrakt Unterschiede im Schlachtgewicht fest. Einen Einfluss auf den pH-Wert oder das Auftreten von Fleischqualitätsmängeln konnten sie hingegen nicht dokumentieren.

Minkus (2003) und Schütte et al. (1996) beschrieben dagegen eine Häufung von Fleisch mit DFD-Charakteristik bei Schweinen, die mit hochgradigen Lungenveränderungen auffielen. Auch Hammel und Blaha (1993) kamen zu dem Ergebnis, dass ein Zusammenhang zwischen dem Schweregrad einer Lungenerkrankung und dem pH-Wert im Fleisch geschlachteter Tiere besteht. Als Ursachen werden zum einen der erschwerte Gasaustausch in erkrankten

Lungenarealen und der dadurch eingeschränkte Stoffwechsel vermutet; zum anderen wird diskutiert, ob Tiere durch einen Energiemangel wegen Überanstrengung und energiezehrender Auseinandersetzung mit Krankheitserregern Fleischqualitätsmängel entwickeln (HOY, 1987; Schütte et al., 1996).

2.4.3.4 Nahrungsentzug vor der Schlachtung

Die Studie von Rybarczyk et al. (2017) untersuchte die Auswirkungen eines Nahrungsentzuges vor der Schlachtung auf die Fleischqualität. Die Autoren stellten fest, dass die Schlachtkörper von Schweinen, die 24 Stunden vor der Schlachtung nüchtern gehalten wurden, im Vergleich zu Schlachtkörpern von Schweinen, die nur 18 Stunden nüchtern gehalten wurden, eine bessere technologische Fleischqualität zeigten. Die gemessenen pH-Werte der seit 24 Stunden nüchternen Tiere lagen signifikant höher, die elektrische Leitfähigkeit und der Tropfsaftverlust waren niedriger als bei den nur 18 Stunden nicht gefütterten Schweinen. Die Sensorik des untersuchten Fleisches, das Schlachtgewicht und der Muskelfleischanteil blieben von dem Nahrungsentzug unbeeinflusst.

2.4.3.5 Transport

Die Bedeutung des Transportes zum Schlachthof wurde mehrfach untersucht. Das Auf- und Abladen, die neue Umgebung und die ungewohnte Situation führten bei den Tieren zu vermehrtem Stress, der sich in erhöhter Herzfrequenz und Körperinnentemperatur zeigte (Augustini, 1983). Auch die Fahrtzeit (von Wenzlawowicz, 1994) und die Ladedichte (Groth, 1987; Guàrdia et al., 2004; Lammens et al., 2007) wirken sich auf die Fleischqualität aus. Sehr kurze Fahrten, die nur eine viertel Stunde dauerten, führten dazu, dass den Schweinen keine Zeit blieb, sich auf die neuen Bedingungen einzustellen. Transporte über mehrere Stunden dagegen lösten weniger akuten Stress aus und führten deshalb seltener zu Mängeln in der Fleischqualität (Pérez et al., 2002).

In Untersuchungen von Groth (1987) zeigte sich, dass mehr Tiere bei Transporten mit einer Ladedichte von 220 kg/m^2 als bei Transporten mit einer Ladedichte von 200 kg/m^2 PSE-Fleisch nach der Schlachtung entwickelten. Neben einer zu hohen Ladedichte beeinflusst laut Lammens et al. (2007) auch eine zu niedrige Ladedichte die Fleischqualität im negativen Sinne.

Pott (1997) führte weitere Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Transportbedingungen und Fleischqualität durch. Sie beschreibt eine Verschlechterung der Fleischqualität bei einem unruhigen Fahrstil mit vielen Kurven oder plötzlichen Bremsmanövern. Außerdem stellte sie bei den untersuchten Tieren je nach Entlademethode unterschiedliche Stresslevel fest. Insgesamt erscheint den meisten Autoren der positive Einfluss eines schonenden

Umgangs mit den Tieren besonders entscheidend (Augustini, 1983; Lammens et al., 2007; Pott, 1997).

2.4.3.6 Wartezeit am Schlachthof

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Warte- und Ruhezeiten nach dem Transport zum Schlachthof sind ebenfalls bereits untersucht worden. Eine Ruhephase nach dem Transport ist für die Tiere wichtig, um den Transportstress abzubauen (Guàrdia et al., 2004). Sie trägt durch die Stabilisierung des Kreislaufs und der Stoffwechselvorgänge im Muskel zu einer guten Fleischbeschaffenheit bei (Augustini und Fischer, 1981). Dabei scheint es jedoch entscheidend zu sein, die Ruhezeit nicht zu lange auszudehnen (Kuchling et al., 1969; Mickwitz und Heuking, 1990).

In Untersuchungen durch von Wenzlawowicz (1994) wurden nach Ruhezeiten zwischen 60 und 90 Minuten und über 120 Minuten niedrigere pH-Werte in der Muskulatur gemessen als nach Ruhezeiten mit einer Länge von unter 60 Minuten oder zwischen 90 und 120 Minuten. Auch Mickwitz und Heuking (1990) beschrieben ein vermehrtes Auftreten von PSE-Fleisch nach längeren Ruhephasen von mehr als vier Stunden. Dies bestätigten Augustini und Fischer (1981) ebenfalls, die bei über Nacht am Schlachthof verbliebenen Schweinen neben vermehrten PSE-Fällen auch häufiger DFD-Fleisch dokumentierten.

Neben der Dauer der Wartezeit spielt auch das Klima und die Besatzdichte in den Warteställen eine Rolle für die Fleischbeschaffenheit. Schwülwarme Temperaturen und zu geringe Tierzahlen in der Wartebucht wirken sich negativ auf den pH-Wert kurz nach der Schlachtung aus (Lammens et al., 2007; Wähaus, 1982).

2.4.3.7 Schlachtbedingungen

Die Autoren van de Perre et al. (2010) beschäftigten sich in ihren Untersuchungen mit den Bedingungen kurz vor der Schlachtung. Sie fanden heraus, dass vier Hauptfaktoren die Fleischqualität negativ beeinflussen: ein hoher Geräuschpegel am Schlachthof, viele hustende Schweine, die Elektrobetäubung und die Jahreszeit. In den Sommermonaten traten seltener PSE-Fälle auf als im Frühling oder Herbst.

Auch andere Autoren bestätigten die negativen Auswirkungen durch eine Betäubung mittels elektrischer Durchströmung (Channon et al., 2000; Velarde et al., 2000). Vergleicht man die Elektrobetäubung mit einer Betäubung durch Kohlendioxidinhalation, fallen niedrigere pH-Werte, vermehrte petechiale Einblutungen im Schinken und der Lendenmuskulatur, erhöhte PSE-Raten, ein erhöhter Tropfsaftverlust und Ekchymosen auf (Channon et al., 2003; Lammens et al., 2007; Velarde et al., 2001; Velarde et al., 2000).

Neben der Betäubungsart spielt auch der Umgang mit den Tieren eine wichtige Rolle. Wird mit den Tieren vor der Schlachtung nicht sorgsam umgegangen, entwickeln sie Stress, der sich in einer verminderten Fleischqualität äußert (Thiemig et al., 1997; van der Wal et al., 2000).

Letztendlich stellte sich in verschiedenen Untersuchungen auch die Art des Entblutens als qualitätsrelevanter Einflussfaktor heraus. Schlachtkörper, die im Hängen entblutet wurden, zeigten im Mittel niedrigere pH-Werte als im Liegen entblutete Schlachtkörper (Woltersdorf und Tröger, 1987). Fischer und Augustini (1981) untersuchten beide Schlachtkörperseiten im Vergleich. Bei ihren Messungen stellten sie in der angebundenen Schlachtkörperseite im Vergleich zu der nicht angebundenen Seite niedrigere pH-Werte und höhere Laktatkonzentrationen fest und schlussfolgerten daraus eine schlechtere Qualität. Als Ursache hierfür sahen sie die reflektorischen Zugbewegungen an der angebundenen Seite. Zu ähnlichen Erkenntnissen kamen auch Aalhus et al. (1991) und Sackmann (1988), die den schnelleren pH-Wert-Abfall in der stärkeren Belastung des angebundenen Beines und der damit beschleunigten Glykolyse begründet sahen.

3 Material und Methoden

3.1 Tiere und Projektaufbau

Die Untersuchungen für die vorliegende Arbeit wurden in zwei Phasen unterteilt. Abbildung 5 stellt den zeitlichen Ablauf der Probenahmen in beiden Projektphasen dar.

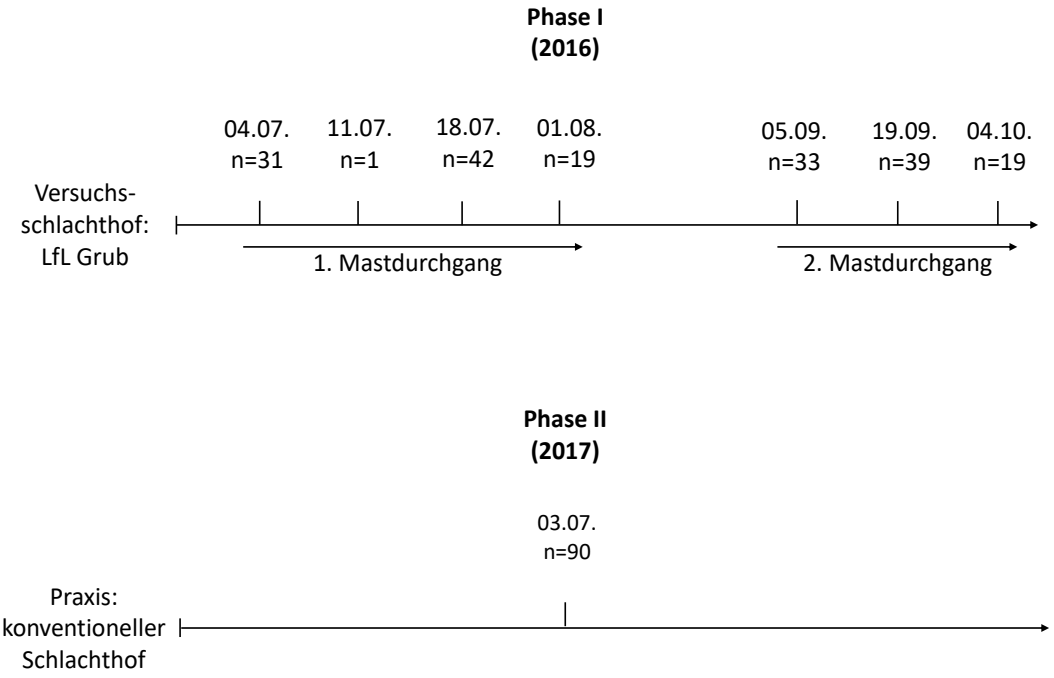


Abbildung 5: Zeitlicher Ablauf der Probenahme

In Phase I dieser Studie wurden an sieben Untersuchungstagen zwischen Juli 2016 und Oktober 2016 insgesamt 184 Mastschweine aus zwei Mastdurchgängen am Schlachthof der Versuchsstation Grub der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) untersucht und beprobt.

Bei diesen Tieren handelte es sich um projekteigene Studientiere, die für diesen Zweck im Alter von vier Wochen von einem konventionellen Ferkelerzeuger (einheitliche Herkunft und Genetik) gekauft wurden. Die Tiere waren Masthybriden mit folgender Genetik: Deutsches Edelschwein x Deutsche Landrasse x Piétrain. Das Geschlechterverhältnis war ausgeglichen (1:1). Zur besseren Identifizierung der Schweine erfolgte bereits beim Absetzen eine Kennzeichnung mit tierindividuellen Ohrmarken.

Die Aufzucht fand in Stallungen der LfL auf Kunststoffvollspaltenböden in Buchten mit je acht Tieren (Buchtengröße: 3,1 m x 2,1 m) statt. Während der Mast (Umstallung in der 12. Lebenswoche) wurden die Schweine in einem Maststall der

Leistungsprüfanstalt des LfL auf Betonvollspaltenböden mit einem Platzangebot von 1,1 m^2 pro Tier gehalten. Auch hier betrug die Gruppengröße acht Schweine pro Bucht.
Mit einem Alter von circa sechs Monaten wurden die Tiere der Schlachtung zugeführt. Hierbei wurden die schwereren Schweine eines Mastdurchgangs jeweils zuerst geschlachtet. Zwischen der ersten Schlachtung eines Durchgangs (Tiere mit hohem Lebendgewicht) und der letzten Schlachtung eines Durchgangs (Tiere mit niedrigerem Lebendgewicht) lagen maximal vier Wochen Zeitabstand.
Die Schlachtung fand am Versuchsschlachthof der Leistungsprüfanstalt Grub statt. Die Schweine wurden dort mittels Elektrobetäubung betäubt und anschließend liegend entblutet. Die Bandgeschwindigkeit konnte an die Untersuchungsbedürfnisse angepasst werden und betrug etwa 30 Schweine pro Stunde.

In Phase II fanden die Untersuchungen und Probenahmen an einem konventionellen bayerischen Schlachthof statt. Bei den untersuchten Tieren der zweiten Phase handelte es sich um eine Schlachtcharge mit 90 Mastschweinen eines konventionellen Mästers aus Bayern. Die Genetik dieser Tiere entsprach der Genetik der Tiere aus Phase I (Deutsches Edelschwein x Deutsche Landrasse x Piétrain).
Während der Aufzucht wurden die Tiere ebenfalls auf Kunststoffvollspaltenboden und während der Mast auf Betonvollspaltenböden gehalten. Das Platzangebot während der Mast betrug zwischen 0,8 m^2 und 0,9 m^2 pro Schwein.
Die Schlachtung fand im Alter von sechs Monaten statt und alle 90 Schweine wurden am 3.7.2017 untersucht. Bei der Betäubungsmethode handelte es sich um eine Kohlendioxid-Betäubung. Die Entblutung wurde hängend durchgeführt.
Die Identifizierung der Schweine am Schlachthof erfolgte aufgrund der fehlenden tierindividuellen Markierung beim Zutrieb anhand ihrer Schlagstempel und nach dem Entbluten durch Schnitte an den Karpalgelenken, welche später als Markierung am Schlachtband dienten.
Da die Untersuchungen während des regulären Schlachtbetriebes stattfanden, konnte die Bandgeschwindigkeit nicht reguliert werden und betrug etwa 400 Schweine pro Stunde. Eine Zusammenfassung der einzelnen Projektphasen liefert Tabelle 14.

Tabelle 14: Übersicht über den Aufbau der beiden Projektphasen

Merkmal	Phase I	Phase II
Schlachthof	Versuchsschlachthof: LfL Grub	Praxis: konventioneller Schlachthof
Anzahl Schweine	184	90
Mastdurchgänge	2	1
Haltungsform Aufzucht	Kunststoffvollspalten	Kunststoffvollspalten
Haltungsform Mast	Betonvollspalten	Betonvollspalten
Untersuchungstage	7*	1*
Schlachtalter	6 Monate	6 Monate
Schlachtgeschwindigkeit	30 Schweine/Stunde	400 Schweine/Stunde
Betäubungsart	Elektrobetäubung	CO_2-Betäubung
Entblutungsvorgang	liegend	hängend

CO_2: Kohlendioxid, LfL: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, *Details zu den Untersuchungstagen sind Abbildung 5 zu entnehmen

3.2 Material

3.2.1 Befunderhebung und Probenahme am Schlachthof

- Diktiergerät PHILIPS (Philips, Amsterdam, Niederlande, Art. Nr. DVT1150)
- Fotoapparat Stylus TG-4 (Olympus, Shinjuku, Japan, Art. Nr. 2271066)
- Kalibrierpufferlösung pH 4,01 (Testo AG, Lenzkirch, Deutschland, Art. Nr. 05542061)
- Kalibrierpufferlösung pH 7,00 (Testo AG, Lenzkirch, Deutschland, Art. Nr. 05542063)
- Kühlbox (Waeco GmbH, Emsdetten, Deutschland, Art. Nr. 9105302036)
- Messerset (Ehlert, Verl, Deutschland, Art. Nr. 66202)
- pH Messgerät pH-Star (R. Matthäus, Eckelsheim, Deutschland, Art. Nr. 17020)
- Polypropylen-Becher (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 75.1354.001)
- Polypropylen-Container 250 ml (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 75.9922.532)
- Rack D17 (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 93.852.172)
- Raidex Viehzeichenspray (Real, Düsseldorf, Deutschland, Art. Nr. 231769)
- S-Monovette 9 ml (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 02.1063.001)

3.2.2 Mikrobiologie

Anzucht:

- Abdampfschale mit Rand (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 216-0028)
- Abstrichtupfer steril (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 80628)
- Anaerobiertöpfe (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 1.16387.0001)
- Anaerocult A (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 1.13829.0001)
- Anaerocult C (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 1.16275.0001)
- Brutschrank Heraeus Inkubator (ThermoFisher Scientific, Waltham, USA, Art. Nr. 50116048)
- Bunsenbrenner Gasprofi 1 (WLD-Tec, Göttingen, Deutschland, Art. Nr. 8.201.000)

- Columbia Agar mit Schafsblut (Oxoid, Wesel, Deutschland, Art. Nr. PB5039A)
- Ethanol absolut p. a. (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 1.00983.1011)
- Gefrierschrank Liebherr profi line (Liebherr, Biberach a. d. Riß, Deutschland, Art. Nr. 44873-023)
- Impfösen (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 612-2675)
- Kühlschrank Liebherr glass line (Liebherr, Biberach a. d. Riß, Deutschland, Art. Nr. 44873-019)
- Laborschere rostfrei (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 233-1221)
- Pinzetten mit Haken (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 232-0004)
- Schaedler Agar (Oxoid, Wesel, Deutschland, Art. Nr. PB5034A)
- Schokoladenagar mit Vitox (Oxoid, Wesel, Deutschland, Art. Nr. P05090A)
- Sterile Einmalkanülen 18G (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 613-2030)
- Sterile Einmalskalpelle (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 233-5487)

MALDI-TOF MS:

- α-Cyano-4-Hydroxy-Zimtsäure (Bruker Daltonik, Bremen, Deutschland, Art. Nr. 8255344)
- Acetonitril LC-MS-grade (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 83640.320)
- Alu-Laborfolie (Zefa, Grasbrunn, Deutschland, Art. Nr. 60150)
- Ameisensäure 99 – 100 % LC-MS-grade (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 84865.260)
- Aqua bidest. / Anlage Typ 2108 (GFL, Burgwedel, Deutschland, Art. Nr. 10280303)
- Autoflex Speed MALDI-TOF Massenspektrometer (Bruker Daltonik, Seriennummer: 264420.00308)
- Bacterial Test Standard (Bruker Daltonik, Bremen, Deutschland, Art. Nr. 8255343)
- Brutschrank Heraeus Inkubator (ThermoFisher Scientific, Waltham, USA, Art. Nr. 50116048)
- Bunsenbrenner Gasprofi 1 (WLD-Tec, Göttingen, Deutschland, Art. Nr. 8.201.000)
- Einmalimpfösen (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 612-2494)
- Ethanol absolut p. a. (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 1.00983.1011)
- HeraSafe Laborabzug (ThermoFisher Scientific, Waltham, USA, Art. Nr. 51022485)
- Isopropanol HPLC-grade (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 20880.320)
- Kühlschrank Liebherr profi line (Liebherr, Biberach a. d. Riß, Deutschland, Art. Nr. 483-023)
- MTP 384 Target plate ground steel (Bruker Daltonik, Bremen, Deutschland, Art. Nr. 8280784)
- MTP 384 Target plate polished steel (Bruker Daltonik, Bremen, Deutschland, Art. Nr. 8280781)
- Pipette „Eppendorf Reference“ 0,5 - 10µl, 10 - 100 µl, 100 - 1000 µl (Eppendorf, Hamburg, Deutschland Art. Nr. 4910000.024, 4910000.059, 4910000.083)
- Pipettenspitzen 1 - 10 µl, 2 - 200 µl, 100 - 1000 µl (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 613-3501, 613-3505, Art. Nr. 51306)
- Reagiergefäß 1,5 ml (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 72.706.400)

- Software - MTB Compass 4.1 (Bruker Daltonik, Bremen, Deutschland)
- Trifluoressigsäure LC-MS-grade (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 84868.260)
- Vortexer (IKA Lab Dancer, Staufen, Deutschland, Art. Nr. 000336500)
- Zahnstocher Holz (dm, Karlsruhe, Deutschland, Art. Nr. 4418)
- Zentrifuge mini (Labogene, Lynge, Dänemark, Art.Nr. 7.601.314.101)

3.2.3 Molekularbiologie

- Abstrichtupfer Baumwolle steril (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 80628)
- Aqua bidest. / Anlage Typ 2108 (GFL, Burgwedel, Deutschland, Art. Nr. 10280303)
- DNeasy Blood & Tissue Kit (Qiagen, Hilden, Deutschland, Art. Nr. 69506)
- Ethanol absolut p. a. (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 1.00983.1011)
- Gefrierschrank Liebherr profi line (Liebherr, Biberach a. d. Riß, Deutschland, Art. Nr. 483-011)
- Hard Shell 96W Platten (BioRad, Hercules, USA, Art. Nr. HSP9601)
- Kühlschrank Liebherr profi line (Liebherr, Biberach a. d. Riß, Deutschland, Art. Nr. 483-023)
- Lagerkasten für Mikroröhren (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 95.64.997)
- Microseal Folien (BioRad, Hercules, USA, Art. Nr. MSP1001)
- Mini Spin Zentrifuge (Eppendorf, Hamburg, Deutschland, Art. Nr. 5452000010)
- Phosphate buffered saline (PBS) (Biomerieux, Marcy-l'Étoile, Frankreich, Art. Nr. 75611)
- PCR Werkbank CaptairBio (Erlab, Val-de-Reuil, Frankreich, Art. Nr. 00780025)
- PCR Workstation UV Airclean Large (LTF Labortechnik, Wasserburg, Deutschland, Art. Nr. 112.0014)
- Pipette „Eppendorf Reference" 0,5 - 10µl, 10 - 100 µl, 100 - 1000 µl (Eppendorf, Hamburg, Deutschland Art. Nr. 4910000.024, 4910000.059, 4910000.083)
- Pipettenspitzen 1 - 10 µl, 2 - 200 µl, 100 - 1000 µl (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 613-3501, 613-3505, Art. Nr. 51306)
- QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen, Hilden, Deutschland,)
- Reagiergefäß SafeSeal 1,5 ml und 2,0 ml (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 72.706.400, 72.695.400))
- Software - BioRad CFX Manager Version 3.1 (BioRad, Hercules, USA)
- Sterile Einmalkanülen 18G (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 613-2030)
- Sterile Einmalskalpelle (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 233-5487)
- Swine Mycoplasma Multiplex DNA test kit (BioChek, Reeuwijk, Niederlande, Art. Nr. SP102)
- Thermocycler CFX 96 (BioRad, Hercules, USA, Art. Nr. 1841100)
- Thermomixer comfort (Eppendorf, Hamburg, Deutschland, Art. Nr. 538000015)
- Vortexer (Velp Scientifica, Usmate Velate MB, Italien, Art. Nr. F202A0171)
- Wägeschalen Alu (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 611-3)

3.2.4 Histopathologie

Vorbereitung der Proben:

- Becher (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 75.1354.001)
- Destilliertes Wasser
- Formaldehydlösung 37 % (Roth, Karlsruhe, Deutschland, Art. Nr. CP10.2)
- Gefrierschrank Liebherr Profi Line (Liebherr, Biberach a. d. Riß, Deutschland, Nr. 483-011)
- Secuflow Laborabzug (Waldner, Wangen, Deutschland, Art. Nr. 002403)
- Sterile Einmalkanülen 18G (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 613-2030)
- Sterile Einmalskalpelle (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 233-5487)

Histopathologische Untersuchung (Tiergesundheitsdienst (TGD) Bayern, Grub):

- Aluminiumkaliumsulfat-Dodecahydrat (Merck, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 1.01047)
- Chloralhydrat (Sigma Aldrich, St. Louis, Missouri, USA, Art. Nr. 15307)
- Deckgläser 24x24 mm (Merck, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 613F9415)
- Eisessig (AppliChem Inc., St. Louis, Missouri, USA, Art. Nr. A0661)
- Eosin (Merck, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 1.15935)
- Ethanol (CLN GmbH, Niederhummel, Deutschland, Art. Nr. 522060)
- Gewebeentwässerungsautomat Tissue-Tec® VIP (Sakura Finetek, Alphen aan den Rijn, Niederlande, Art. Nr.5902)
- Hämatoxylin (AppliChem Inc., St. Louis, Missouri, USA, Art. Nr. A3865)
- Kaliumdichromat (Merck, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 4864)
- Kaliumpermanganat (Merck, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 5080)
- Mikrotom Leica Jung RM 2055 (Leica Biosystems, Wetzlar, Deutschland, Art. Nr. 043019665)
- Natriumjodat (Merck, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 6525)
- Objektträger mit geschliffenen Kanten (VWR, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 631-0907)
- Oxalsäure (AppliChem Inc., St. Louis, Missouri, USA, Art. Nr. A2639)
- Phosphorwolframsäure (Merck, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 1.00582)
- Salzsäure (Merck, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 1.00317)
- Schwefelsäure (Merck, Darmstadt, Deutschland, Art. Nr. 731)
- Zitronensäure (AppliChem Inc., St. Louis, Missouri, USA, Art. Nr. A135)

3.2.5 Serologie

- 450 nm Filter (Bio-Rad, Hercules, Kalifornien, USA, Art. Nr. 168-1020)
- Autura 1000 Automatic Microplate Washer (Mikura, West Sussex, England, Art. Nr. 24.1000)
- Destilliertes Wasser
- Gefrierschrank Liebherr Profi Line (Liebherr, Biberach a. d. Riß, Deutschland, Art. Nr. 43-011)

- Life Diagnostics Pig CRP ELISA (Hölzel Diagnostika, Köln, Deutschland, Art. Nr. 2210-6)
- Microplate Reader Model 680 (Bio-Rad, Hercules, Kalifornien, USA, Art. Nr. 54.770.680)
- Mini Spin plus Zentrifuge (Eppendorf, Hamburg, Deutschland, Art. Nr. 5453000015)
- Pipette „Eppendorf Reference“ 0,5 - 10µl (Eppendorf, Hamburg, Deutschland, Art. Nr. 4910000.024)
- Pipette 2 - 20 µl, 10 - 100 µl, 100 - 1000 µl Brand (Brand GmbH & Co KG, Wertheim, Deutschland, Art. Nr. 704772, 704774, 704780)
- Pipettenspitzen 0,5 - 20 µl, 2-200 µl, 5-300 µl, 50-1000 µl (Brand GmbH & Co. KG, Wertheim, Deutschland, Art. Nr. 732004, 732008, 732010, 704780)
- Pipettenspitzen 1 - 10 µl (VWR, Ismaning, Deutschland, Art. Nr. 613-3501)
- Plattformrüttler Titramax 1000 (Heidolph Instruments GmbH & Co. KG, Schwabach, Deutschland, Art. Nr. 542-405-00)
- Rack D17 (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 93.852.172)
- Reagiergefäß SafeSeal 2,0 ml (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 72.695.400)
- Röhre mit Verschluss (Sarstedt, Nümbrecht, Deutschland, Art. Nr. 60.558)
- Software - BioRad Microplate Manager Version 5.2 (Bio-Rad, Hercules, USA)
- Vortexer (Velp Scientifica, Usmate Velate MB, Italien, Art. Nr. F202A0171)

3.3 Methoden

3.3.1 Befunderhebung und Probenahme am Schlachthof

3.3.1.1 Akzessorische Schleimbeutel

Die Erhebung der Schleimbeutelbefunde fand am laufenden Schlachtband statt und wurde stets von derselben Person durchgeführt. Die bereits geschlachteten Schweine wurden an den Hinterbeinen hängend adspektorisch und soweit möglich auch palpatorisch auf akzessorische Schleimbeutel an den Gliedmaßen untersucht. Notiert wurde nur die jeweils größte Bursa je Schwein. Die erfassten Befunde wurden nach dem von Gareis et al. (2016) beschriebenen Boniturschema in Schweregrade von 0 bis 3 eingeteilt. Genauere Erläuterungen zu diesem Schema sind in Tabelle 15 dargestellt.

In Phase I wurden pro Tier ein bis zwei Hilfsschleimbeutel für die spätere mikrobiologische Untersuchung entfernt. Hierfür wurde die Veränderung großräumig umschnitten, um diese nicht zu eröffnen und so eine Kontamination des Burseninneren mit Oberflächenkeimen auszuschließen. Die entfernten Proben wurden sofort in sterile Probengefäße mit Schraubdeckel verpackt, mit einer laufenden Nummerierung versehen und bis zur weiteren Untersuchung am Lehrstuhl, maximal für drei Stunden, in einer Kühlbox bei + 7 °C gelagert.

In Phase II wurden keine Hilfsschleimbeutel als Proben gewonnen.

Tabelle 15: Boniturschema für akzessorische Bursen nach Gareis et al. (2016)

Bursagrad	Äußeres Erscheinungsbild
0	keine Bursa vorhanden
1	mind. eine Bursa, Durchmesser < 3 cm, Haut intakt
2	mind. eine Bursa, Durchmesser ≥ 3 cm, Haut intakt
3	mind. eine Bursa, Haut ulzeriert oder blutig

mind: mindestens, <: kleiner als, ≥: größer oder gleich

3.3.1.2 Lungen

Die parallel zum Schlachtkörper am Schlachtband laufenden Lungen der untersuchten Tiere wurden ebenfalls bonitiert. Dabei kam der Befundschlüssel aus Anlage 3 der AVV Lebensmittelhygiene zur Anwendung, der drei Befundkategorien von 0 bis 2 anhand des Anteils an veränderter Lungenfläche definiert (Tabelle 16). Lungen mit technologisch bedingten Veränderungen in Form von Stich- oder Brühlungen wurden als solche vermerkt und nicht zur Bewertung herangezogen.
Neben der adspektorischen Untersuchung der Lungen wurden in der ersten Phase des Projektes auch Lungenproben für die spätere mikrobiologische Untersuchung entnommen. Hierfür wurde durch die untersuchende Person ein etwa 5 cm x 5 cm großes Stück pathologisch verändertes Lungengewebe entfernt und in verschließbare sterile Probengefäße verpackt. Diese wurden ebenfalls fortlaufend beschriftet, so dass eine spätere Zuordnung zum Schlachtkörper und den weiteren gewonnenen Befunden und Proben gesichert war. Die Lagerung bis zur späteren Untersuchung, die spätestens drei Stunden nach der Probenahme stattfand, erfolgte bei + 7 °C.
In der zweiten Projektphase erfolgte, wie schon bei den akzessorischen Schleimbeuteln, ausschließlich eine visuelle Befundung. Eine Beprobung der Schlachtlungen für spätere mikrobiologische Untersuchungen wurde nicht durchgeführt.

Tabelle 16: Schema zur Erfassung und Einteilung von Organbefunden beim Mastschwein aus Anlage 3 der AVV Lebensmittelhygiene

Organ	Veränderter Anteil	Befundkategorie	Befundschlüssel
Lunge (Gewebe)	bis zu 10 %	0	o.b.B., PN1
	10 % bis 30 %	1	PN2
	über 30 %	2	PN3

o.b.B.: ohne besonderen Befund, PN: Pneumonie

3.3.1.3 Blut

Während des Entblutungsvorganges wurden den zu untersuchenden Schweinen Blutproben entnommen. Hierfür wurde das aus dem Entblutungsstich strömende Blut mit Serumröhrchen (9 ml) aufgefangen. Die Röhrchen wurden mit fortlaufenden Nummern beschriftet und bis zur Untersuchung maximal drei Stunden bei + 7 °C gelagert.

3.3.1.4 Schlachtkörper- und Fleischqualität

Die Schlachtkörperqualität wurde in beiden Projektphasen anhand des Schlachtgewichts (Zweihälftengewicht) und des Muskelfleischanteils dokumentiert.

Zur Bestimmung der Fleischqualität wurden in Phase I der pH-Wert 45 min und 24 h nach der Schlachtung im M. longissimus dorsi und die elektrische Leitfähigkeit 24 h nach dem Tod, ebenfalls im M. longissimus dorsi, ermittelt. Die Messungen wurden durch das Klassifizierungspersonal durchgeführt.

In Phase II des Projektes erfolgte nur die Messung der pH-Werte 45 min post mortem. Diese wurden selbst mit Hilfe eines pH-Star Gerätes (R. Matthäus, Eckelsheim, Deutschland) erfasst.

3.3.2 Mikrobiologie

3.3.2.1 Anzucht

3.3.2.1.1 Akzessorische Schleimbeutel

Die beprobten Hilfsschleimbeutel wurden spätestens drei Stunden nach der Entfernung mikrobiologisch im Labor untersucht. Jeder Schleimbeutel wurde zuerst auf seine Intaktheit hin überprüft. Bereits versehentlich am Schlachthof beschädigte Bursen wurden aufgrund einer möglichen Kontamination des Inhaltes von der mikrobiologischen Beurteilung ausgeschlossen.

Intakte Schleimbeutel wurden mit 99 prozentigem Ethanol übergossen und abgeflammt. Anschließend wurde jeder Schleimbeutel mit einem sterilen Einmalskalpell und einer zuvor ebenfalls abgeflammten Pinzette eröffnet. Mithilfe eines sterilen Baumwolltupfers wurde eine Tupferprobe aus der Bursahöhle entnommen und der Tupfer anschließend auf Columbia-Schafsblut-, Schaedler- und Schokoladenagar ausgestrichen.

Der Schafsblutagar wurde aerob im Brutschrank bei 37 °C für 48 h bebrütet. Die Bebrütung des Schaedleragars fand in einem Anaerobiertopf im anaeroben Milieu bei 37 °C ebenfalls für 48 h statt und der Schokoladenagar wurde 48 h unter mikroaerophilen Bedingungen (8-10 % CO_2, 5-7 % O_2) inkubiert.

Die Tupfer und die beprobten Schleimbeutel wurden erneut einzeln verpackt und bei - 20 °C eingefroren.

3.3.2.1.2 Lungen

Die mikrobiologische Untersuchung der gewonnenen Lungenproben fand spätestens drei Stunden nach der Probenahme statt. Aus dem entnommenen Lungengewebe wurde ein 1 cm x 1 cm 1 cm großer Würfel mit einem sterilen Einmalskalpell und einer zuvor abgeflammten Pinzette herausgeschnitten.
Dieser Würfel wurde mit 99 prozentigem Ethanol übergossen und abgeflammt. Anschließend wurde aus dem Inneren des Würfels steril ein noch kleineres Stück Lungengewebe entnommen und dieses auf Schafsblut- und Schokoladenagar ausgestrichen.
Die Bebrütung des Agars erfolgte wiederum unter den bereits oben beschriebenen aeroben bzw. mikroaerophilen Bedingungen. Das restliche Lungengewebe wurde als Rückstellprobe bei -20 °C eingefroren.

3.3.2.2 Identifizierung

Nach 48 Stunden wurde jede Agarplatte makroskopisch beurteilt, indem optisch unterscheidbare Kolonien markiert und ihre Morphologie schriftlich dokumentiert wurde.
War Bakterienwachstum auf einer Agarplatte erkennbar, wurden zusätzlich die Gesamtanzahl der vorhandenen Bakterien und die Anzahl der verschiedenen identifizierten Bakterienspezies erfasst. Die Dokumentation der Gesamtanzahl erfolgte hierbei semiquantitativ in Kategorien von „+“ bis „+++“, wobei „+“ eine geringe Anzahl (max. 14 KbE/Agarplatte), „++“ eine mittlere Anzahl (15 bis 45 KbE/Agarplatte) und „+++“ eine hohe Anzahl (mehr als 45 KbE/Agarplatte) von Bakterien bedeutete.
Anschließend wurden die einzelnen Kolonien mittels MALDI-TOF MS identifiziert. Hierfür wurde jeder Kolonietyp im Doppelansatz mittels „Extended Direct Transfer“-Verfahren nach Angaben des MALDI Biotyper Protokolls (Bruker Daltonik GmbH, Bremen, Deutschland) auf das „MTP 384 ground steel“ Target (Bruker Daltonik, Bremen, Deutschland) aufgetragen.
Dabei wurde zuerst eine dünne Schicht Koloniematerial mithilfe eines hölzernen Applikators auf die einzelnen Target-Spots aufgebracht und anschließend auf jeden Spot 1 µl 70 prozentige Ameisensäure pipettiert. Nach einer Trocknungsphase von zwei Minuten konnten die Spots mit 1 µl α-Cyano-4-Hydroxy-Zimtsäure überschichtet werden. Nach einer erneuten Trocknung bei Raumtemperatur erfolgte die Messung mittels MALDI-TOF MS.
Für die massenspektrometrischen Messungen wurde ein Autoflex Speed MALDI-TOF Massenspektrometer (Bruker Daltonik, Bremen, Deutschland) im linearen positiven Modus verwendet. Mithilfe der Software MTB Compass 4.1 wurde das Massenspektrometer gesteuert. Die genauen Messparameter sind Tabelle 17 zu entnehmen.

Tabelle 17: Messparameter der MALDI-TOF Massenspektrometrie

Messparameter	
Laser-Anfangsleistung	50 %
Maximale Laserleistung	58 %
Laseranpassung	fuzzy control, Gewichtung 1,50
Massenbereich (m/z)	2000-20000 Da
Prozessierungsmethode	MTB_Process
Minimale Auflösung	400
Anzahl summierter Spektren	2000
Laserschusszahl je Spot	200
Bewegung	random walk

Da: Dalton

Die erfassten Spektren wurden zur Identifizierung mit der hinterlegten Datenbank der Software abgeglichen. Der Erfolg des Abgleichs wurde anhand von Score Values angegeben und gemäß Tabelle 18 ausgewertet.

Tabelle 18: Kriterien für die Identifikation mittels MTB Compass 4.1 Software nach Herstellerangaben (Bruker Daltonik GmbH)

Score Value	**Beschreibung**
2.300 - 3.000	hochwahrscheinliche Spezies-Identifikation
2.000 - 2.299	sichere Genus-Identifikation, wahrscheinliche Spezies-Identifikation
1.700 - 1.999	wahrscheinliche Genus-Identifikation
0.000 - 1.699	unzuverlässige Identifikation

War nach der ersten Messung keine Identifizierung der untersuchten Bakterien auf Speziesebene möglich (Score Value < 2,000), wurden die entsprechenden Kolonien subkultiviert und dem „Formic Acid Extraction“- Verfahren nach Herstellerangaben (Bruker Daltonik, Bremen, Deutschland) unterzogen. Die genauen Arbeitsschritte dieser Ameisensäure-Extraktion sind Abbildung 6 zu entnehmen. Die anschließende Wiederholung der MALDI-TOF Messung fand wie oben beschrieben statt.

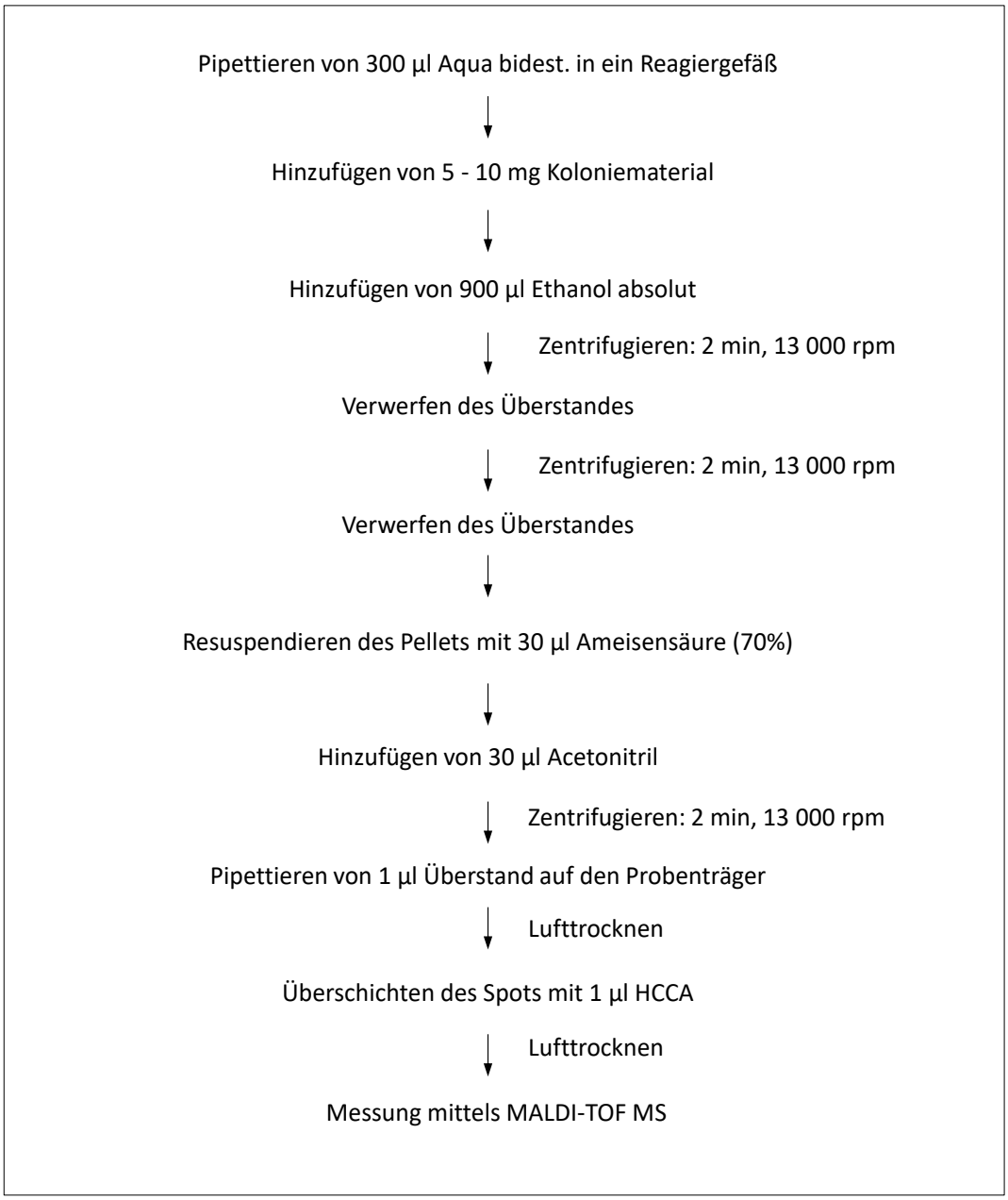


Abbildung 6: Arbeitsschritte der Ameisensäure-Extraktion nach Herstellerangaben (Bruker Daltonik GmbH)

HCCA: α-Cyano-4-Hydroxy-Zimtsäure, mg: Milligramm, min: Minute(n), µl: Mikroliter, rpm: rounds per minute

3.3.3 Molekularbiologie

Sowohl die akzessorischen Schleimbeutel als auch die Lungenproben wurden mittels eines kommerziellen PCR-Testkits (Swine Mycoplasma Multiplex DNA test kit, Fa. BioChek, Reeuwijk, Niederlande) an einem CFX96-Cycler (Bio-Rad, Hercules, Kalifornien, USA) auf *Mycoplasma hyopneumoniae*, *Mycoplasma hyosynoviae* (Mhs) und *Mycoplasma hyorhinis* untersucht. Bei jeder PCR wurden zur Eigenkontrolle sowohl eine Positivkontrolle (interne Kontrolle) als auch zwei Negativkontrollen (Wasser in Molekularbiologie-Qualität) verwendet, die ebenfalls Bestandteil des Testkits waren.

3.3.3.1 DNA-Extraktion

3.3.3.1.1 Akzessorische Schleimbeutel

Die gefrorenen Tupfer wurden bei Raumtemperatur aufgetaut und mithilfe eines kommerziell erhältlichen DNA-Extraktionskits (QIAamp DNA Mini Kit, Fa. Qiagen, Hilden, Deutschland) bearbeitet. Abbildung 7 zeigt die Arbeitsschritte der DNA-Extraktion.

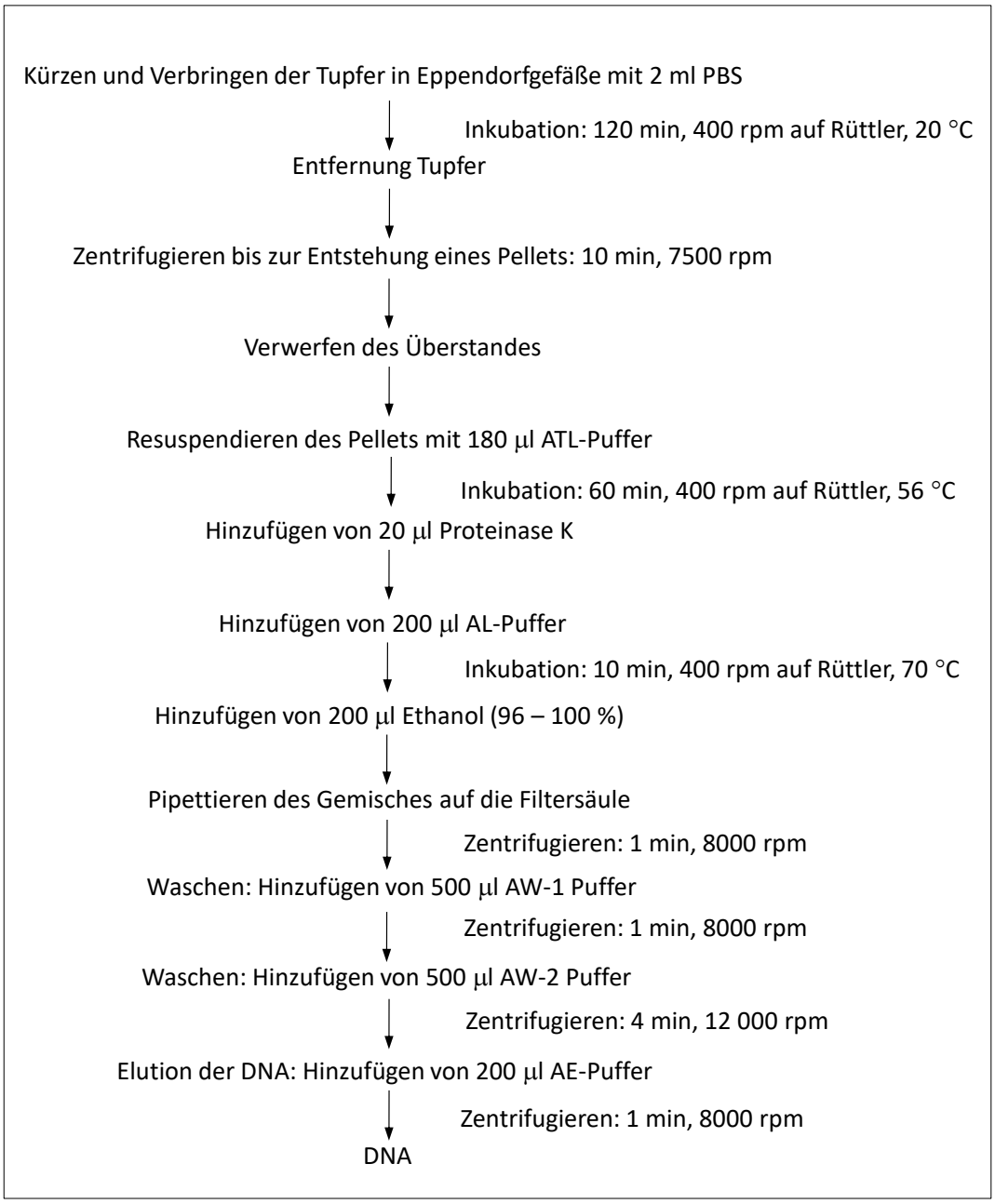


Abbildung 7: Arbeitsschritte der DNA-Extraktion aus akzessorischen Schleimbeuteln mit dem QIAmp DNA Mini Kit nach Herstellerangaben (Qiagen, Hilden, Deutschland)

AE: Elutionspuffer, AL: Lysepuffer, ATL: Lysepuffer, AW: Waschpuffer, mg: Milligramm, min: Minute(n), µl: Mikroliter, PBS: Phosphatgepufferte Salzlösung, rpm: rounds per minute

3.3.3.1.2 Lungen

Aus den gefrorenen Lungenproben wurden mit sterilen Einmalskalpellen etwa 1 cm x 1 cm x 1 cm große Würfel herausgeschnitten. Anschließend wurden aus deren Innerem etwa 25 mg schwere Gewebeproben entnommen und für die DNA-Extraktion mithilfe des DNeasy® Blood & Tissue Kits (Fa. Qiagen, Hilden, Deutschland) verwendet. Abbildung 8 zeigt die Arbeitsschritte der Extraktion.

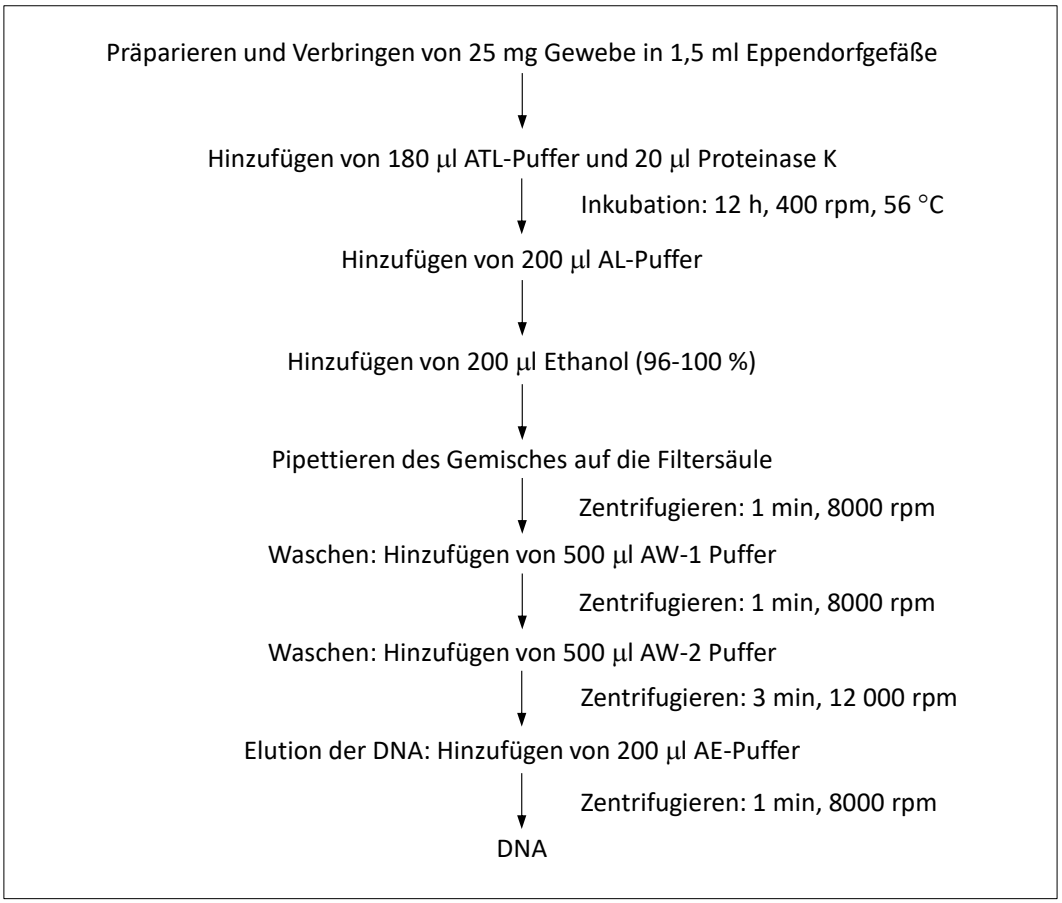


Abbildung 8: Arbeitsschritte der DNA-Extraktion aus Lungengewebe mit dem DNeasy® Blood & Tissue Kit nach Herstellerangaben (Qiagen, Hilden, Deutschland)

AE: Elutionspuffer, AL: Lysepuffer, ATL: Lysepuffer, AW: Waschpuffer, mg: Milligramm, min: Minute(n), µl: Mikroliter, ml: Milliliter, rpm: rounds per minute

3.3.3.2 Polymerasekettenreaktion (PCR)

Zur Detektion von Mykoplasmen-DNA in den Schleimbeuteln und den Lungen wurde das Swine Mycoplasma Multiplex DNA test kit (BioChek, Reeuwijk, Niederlande) nach den Angaben des Herstellers verwendet. Der Reaktionsansatz ist Tabelle 19 zu entnehmen.

Tabelle 19: Reaktionsansatz (25µl) der Mykoplasmen-PCR

Reagenz	**µl/Ansatz**
Mastermix	12,5
Primer/Sonden/Interne Kontrolle	7,5
DNA	5

µl: Mikroliter

Tabelle 20 zeigt das Temperaturprogramm, welches ebenfalls auf Herstellerangaben beruht.

Tabelle 20: Temperaturprogramm der Mykoplasmen-PCR

Schritt	**Temperatur (°C)**	**Zeit**	**Wiederholungen**
1	95	3 min	1x
2	95	15 sec	40x
3	60	60 sec	

min: Minuten, sec: Sekunden

Für die Detektion der Sonden wurden vier Farbkanäle des CFX96-Cyclers verwendet, wobei der FAM-Kanal Mhyo, der Cy5-Kanal Mhr, der Texas Red-Kanal Mhs und der HEX-Kanal die interne Kontrolle (IC) detektierte. Für die Auswertung der Ergebnisse mittels BioRad CFX Manager Version 3.1. (BioRad, Hercules, USA) wurde ebenfalls nach den Empfehlungen des Herstellers vorgegangen (Tabelle 21).

Tabelle 21: Validierung und Interpretation der PCR nach Herstellerangaben (BioChek, Reeuwijk, Niederlande)

Mhyo (FAM)	**Mhr (CY-5)**	**Mhs (TEXAS RED)**	**IC (HEX)**	**Interpretation**
Cq values	**Cq values**	**Cq values**	**Cq values**	
<38	<38	<38	Yes or N/A	positiv Mhyo, Mhr und Mhs
<38	<38	N/A or >38	Yes or N/A	positiv Mhyo und Mhr
N/A or >38	<38	<38	Yes or N/A	positiv Mhr und Mhs
<38	N/A or >38	<38	Yes or N/A	positiv Mhyo und Mhs
<38	N/A or >38	N/A or >38	26 - 34	positiv Mhyo
N/A or >38	<38	N/A or >38	26 - 34	positiv Mhr
N/A or >38	N/A or >38	< 38	26 - 34	positiv Mhs
N/A	N/A	N/A	26 - 34	negativ
N/A	N/A	N/A	N/A or >34	ungültig

cq value: cycle quanitification (gibt an, nach wie vielen PCR-Zyklen die Schwellenlinie überschritten wurde), IC: Interne Kontrolle, Mhyo: *Mycoplasma hyopneumoniae*, Mhr: *Mycoplasma hyorhinis*, Mhs: *Mycoplasma hyosynoviae,* N/A: not available (nicht auswertbar), <: keiner als, > größer als

3.3.4 Histopathologie

Alle mikrobiologisch untersuchten Hilfsschleimbeutel wurden anschließend für die histopathologische Untersuchung vorbereitet. Dafür wurde jeder Schleimbeutel halbiert. Die eine Hälfte wurde wieder bei - 20 °C eingefroren, während die andere Hälfte in zehnprozentiger gepufferter Formalinlösung fixiert wurde.
Die histopathologische Untersuchung der fixierten Schleimbeutel fand am TGD in Grub statt. Die Proben wurden dort in Paraffin gebettet und mit einem Mikrotom in 4 µm dicke Scheiben geschnitten. Es folgte eine Färbung mit Hämatoxylin und Eosin (HE-Färbung).
Die Beurteilung erfolgte gemäß des von Papsthard (1989) entwickelten Schemas, welches die Morphologie der Schleimbeutelwand sowie den Inhalt der Schleimbeutelhöhle charakterisiert und die Hilfsschleimbeutel anhand dieser Kriterien in fünf Kategorien unterteilt (Tabelle 22). Papsthard beschrieb Bursen ohne besonderen Befund (o. b. B.), sowie Schleimbeutel mit reifem oder floridem Entzündungstyp. Mischformen wurden von ihm als so genannter Übergangstyp definiert. Als fünften Typ bezeichnet er Bursen mit Abszesscharakter.

Tabelle 22: Einteilung akzessorischer Bursen nach Papsthard (1989)

Bursen- Typ	**Charakteristische Eigenschaften**
Bursa ohne besonderen Befund	keine Auffälligkeiten, Aufbau wie bei embryonal angelegten Schleimbeuteln
Florider Entzündungstyp	Fibrin im Lumen und der inneren Wandschicht, junges Granulationsgewebe und fibröses Gewebe in äußeren Wandschicht, mononukleäre Entzündungszellen und Erythrozyten
Reifer Entzündungstyp	kaum Fibrin, vor allem fibröses Gewebe, wenig Granulationsgewebe, selten Entzündungszellen oder Erythrozyten
Mischtyp	Übergangsform zwischen floridem und reifem Typ
Abszesstyp	viele Bakterien, Entzündungszellen, Eiter und vor allem junges Granulationsgewebe

3.3.5 Serologie

Die gewonnenen Blutproben wurden nach spätestens drei Stunden für zwei Minuten mit 2000 rpm zentrifugiert und das Blutserum entnommen. Dieses wurde anschließend in verschließbaren Probengefäßen bis zur serologischen Untersuchung bei - 20 °C gelagert. Für die Untersuchung des Gehaltes an C-reaktivem Protein (CRP) wurden je 90 Seren aufgetaut und mittels des Pig CRP Kits (Life Diagnostics, West Chester, USA) nach den Herstellervorgaben untersucht (Abbildung 9).

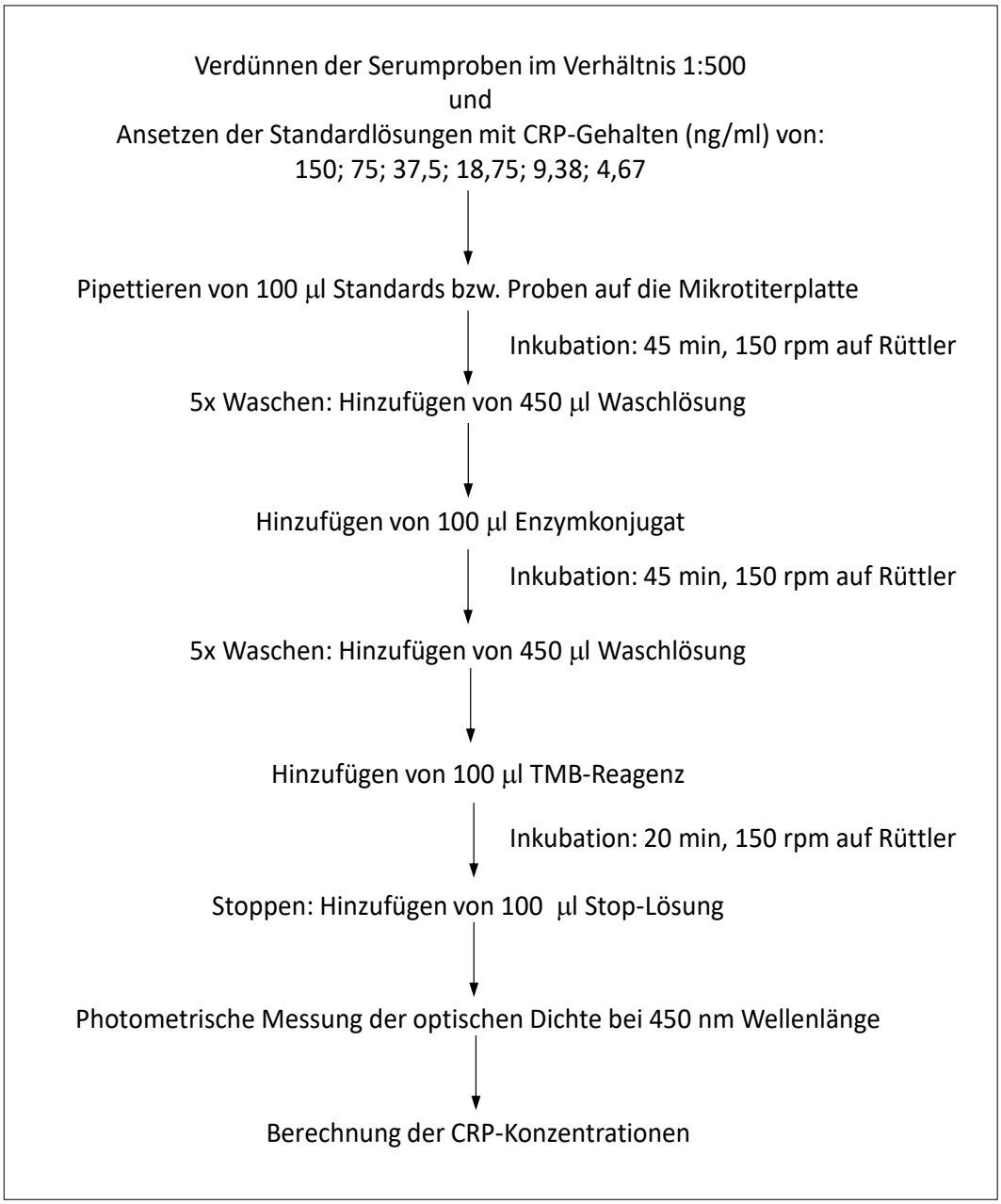


Abbildung 9: Arbeitsschritte des Pig CRP ELISA nach Herstellerangaben (Life Diagnostics, West Chester, USA)

CRP: C-reaktives Protein, min: Minute, ml: Milliliter, µl: Mikroliter, ng: Nanogramm, nm: Nanometer, rpm: rounds per minute, TMB: 3,3´,5,5´-Tetramethylbenzidin

3.3.6 Datenanalyse

Für diese Studie wurden folgende Daten erhoben:

- Bursagrad (Grad 0 bis 3)
- Lungenbefundkategorie (Befundkategorie 0 bis 2)
- Schlachtgewicht in kg
- Muskelfleischanteil in %
- pH-Werte 45 min und 24 h nach der Schlachtung
- Elektrische Leitfähigkeit 24 h nach der Schlachtung in mS/cm
- Mikrobiologische Untersuchungsergebnisse (Keimwachstum, semiquantitative Keimanzahl, Anzahl Spezies)
- Molekularbiologische Untersuchungsergebnisse (Prävalenzen von Mhyo, Mhs, Mhr)
- Histopathologische Untersuchungsergebnisse (Entzündungstyp)
- Serumkonzentration CRP in µg/ml

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels folgender Software:

- IBM SPSS Statistics, Version 24 (IBM, Armonk, USA)
- Microsoft Excel für Mac, Version 16.15 (Microsoft, Albuquerque, USA)
- OriginPro, Version 2017G SR2 b9.4.2.380 (OriginLab Corporation, Northampton, USA)

Um zu untersuchen, ob sich die Ergebnisse aus Phase I und Phase II des Projektes unterscheiden, wurde für alle Daten ein zweiseitiger t-Test verwendet.
Die ordinalen Daten Bursagrad und Lungenbefundkategorie wurden mittels Pearson Chi-Quadrat und Kendall tau-b auf mögliche Zusammenhänge getestet. Um einen Unterschied hinsichtlich der metrischen Daten Schlachtgewicht, Muskelfleischanteil, pH_{45}, pH_{24} und elektrischer Leitfähigkeit in Abhängigkeit von Bursagrad oder Lungenbefundkategorie zu prüfen, wurde eine Varianzanalyse (Anova) durchgeführt und ein Gruppenvergleich in Form eines Post Hoc Tests nach Bonferroni angeschlossen.
Für die Auswertung des Bakteriennachweises in Abhängigkeit von Bursagrad und Lungenbefundkategorie wurde der Pearson Chi-Quadrat Test verwendet und das Effektmaß Cramer´s V berechnet. Die semiquantitativ erhobene Keimanzahl in den Hilfsschleimbeuteln und in den Lungen in Abhängigkeit von Bursagrad und Lungenbefundkategorie wurde mittels Kendall´s tau-c ausgewertet. Signifikante Unterschiede in der Anzahl der identifizierten Bakterienspezies wurden mittels Kruskal-Wallis-Test untersucht.

Für alle statistischen Erhebungen im Zusammenhang mit den histopathologischen und molekularbiologischen Ergebnissen kam der Pearson Chi-Quadrat Test zum Einsatz. Hierbei erfolgte erneut die zusätzliche Berechnung des Effektmaßes Cramer´s V. Ergänzend wurde für den Gruppenvergleich zwischen den einzelnen Entzündungstypen ein Post Hoc Test nach Bonferroni eingesetzt.
Für die Untersuchung auf Unterschiede im CRP-Serumgehalt in Abhängigkeit von Bursagrad oder Lungenbefundkategorie wurde der Kruskal-Wallis-Test in Kombination mit dem Post-Hoc-Test nach Bonferroni angewendet.
Lageunterschiede im CRP-Gehalt in Abhängigkeit vom Bakteriennachweis in Hilfsschleimbeuteln oder Lungen wurden mittels Mann-Whitney-Test untersucht.
Der Einfluss der semiquantitativen Bakterienanzahl, der Anzahl der identifizierten Bakterien und der Gruppenzugehörigkeit der Bakterien in Hilfsschleimbeuteln und Lungen auf den CRP-Spiegel wurde mittels Spearman´s rho überprüft.
Signifikante Unterschiede beziehungsweise signifikante Zusammenhänge lagen jeweils bei einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ vor.

4 Ergebnisse

4.1 Befunderhebung am Schlachthof

4.1.1 Akzessorische Schleimbeutel

Es wurden 274 Mastschweine aus konventioneller Haltung (Vollspaltenböden) hinsichtlich des Auftretens akzessorischer Bursen an den Gliedmaßen beurteilt. Von diesen Schweinen wurden allerdings 74 Tiere nicht für die Auswertung herangezogen, da sie vom Schlachthofpersonal untersucht wurden, das die Ellbogengelenke der Tiere nicht in die Beurteilung mit einbezogen hatte.
Die Schleimbeutel wurden nach dem von Gareis et al. (2016) entwickelten Bonitурschema in Grade von 0 bis 3 eingeteilt (Tabelle 15).
Abbildung 10 stellt Beispiele für akzessorische Schleimbeutel der unterschiedlichen Grade dar. Die Abbildung der Bursa vom Grad 1 zeigt einen Schleimbeutel lateral am rechten Unterarm eines Schweines mit einem Durchmesser von etwa 2,5 cm. Der Schleimbeutel vom Grad 2 befindet sich am linken Ellbogengelenk eines anderen Schweines. Er ist etwa 10 cm groß. Auf der rechten Fotografie ist eine Bursa vom Grad 3 am rechten Sprunggelenk abgebildet. Deutlich zu erkennen ist hier die gerötete Haut im Bereich des gesamten Schleimbeutels und ein Ulcus am distalen Bursarand.

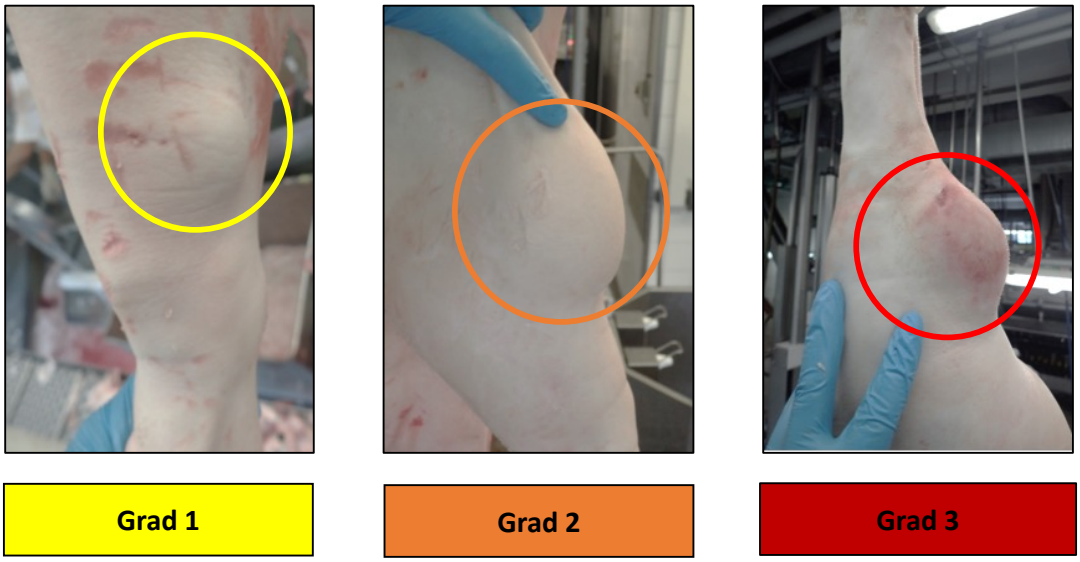


Abbildung 10: Akzessorische Schleimbeutel unterschiedlichen Grades lateral an der rechten Vordergliedmaße, am linken Ellbogengelenk und am rechten Sprunggelenk eines Mastschweines am Schlachtband

In Phase I des Projektes wurden bei 93 von 110 Tieren akzessorische Bursen dokumentiert. Die Prävalenz lag in dieser ersten Phase somit bei 84,6 %. In Phase II zeigten 72 von 90 Schweinen akzessorische Schleimbeutel, woraus sich eine Prävalenz von 80,0 % ergibt. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Projektphasen (p=0,400; statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat). Die Prävalenz im gesamten Untersuchungszeitraum betrug 82,5 %. In beiden Phasen waren Bursen vom Grad 2 am häufigsten zu beobachten. Am seltensten wurden Grad 3 Bursen bonitiert. Eine genaue Übersicht über die vollständigen erhobenen Befunde liefert Abbildung 11.

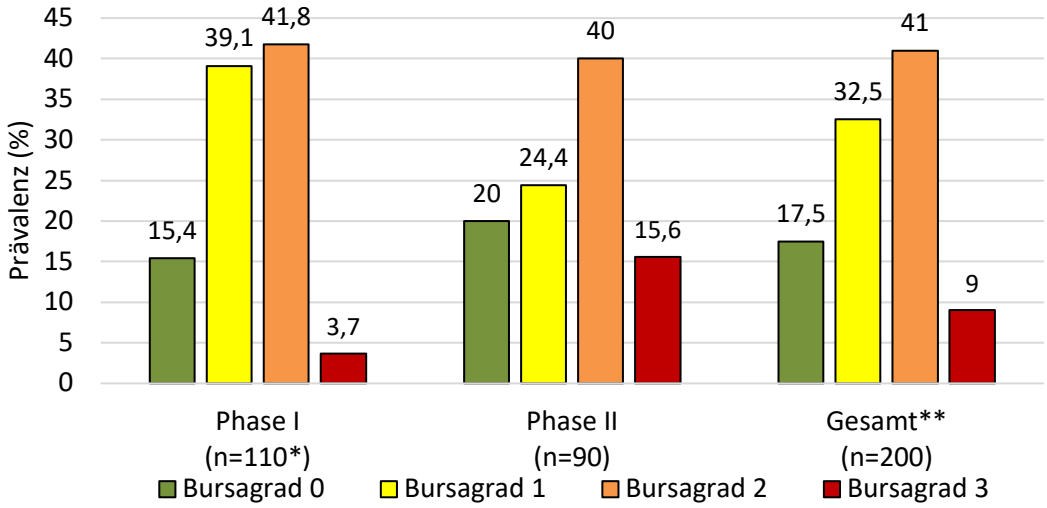


Abbildung 11: Prävalenz akzessorischer Schleimbeutel unterschiedlichen Grades in den verschiedenen Projektphasen bei Mastschweinen

n: Anzahl untersuchter Schweine, * 74 von 184 Schweinen aus Phase I wurden von der Auswertung ausgeschlossen, da sie vom Schlachthofpersonal untersucht wurden, das die Ellbogengelenke bei der Bonitur nicht berücksichtigte, ** Die Gesamtprävalenz akzessorischer Bursen betrug 82,5 %

4.1.2 Pathologische Lungenveränderungen

4.1.2.1 Prävalenz

Insgesamt wurden die Lungen von 274 Mastschweinen am Schlachtband hinsichtlich pathologischer Veränderungen untersucht. Lungen mit technologisch bedingten Veränderungen, wie Stich- oder Brühwasserlungen, wurden nicht beurteilt. Dies traf auf 40 Lungen aus der ersten Projektphase zu.

Die Beurteilung der Lungen erfolgte anhand der Einteilung in Befundkategorien nach Anlage 3 der AVV Lebensmittelhygiene (Tabelle 16).

Abbildung 12 zeigt Beispiele für Schweinelungen mit den Befundkategorien 0, 1 und 2. Die Lunge der Befundkategorie 0 wies makroskopisch keine pathologischen

Veränderungen des Gewebes auf. Bei der Abbildung mit der Befundkategorie 1 sind auf der rechten Lungenhälfte große gerötete Areale zu erkennen, insgesamt sind aber weniger als 30 Prozent des gesamten Lungengewebes betroffen. Die Lunge der Befundkategorie 2 weist auf der gesamten rechten Lungenhälfte großflächige pathologische Veränderungen in Form von verfärbten und fleischig wirkenden Arealen auf. Es sind mehr als 30 % des Lungengewebes verändert.

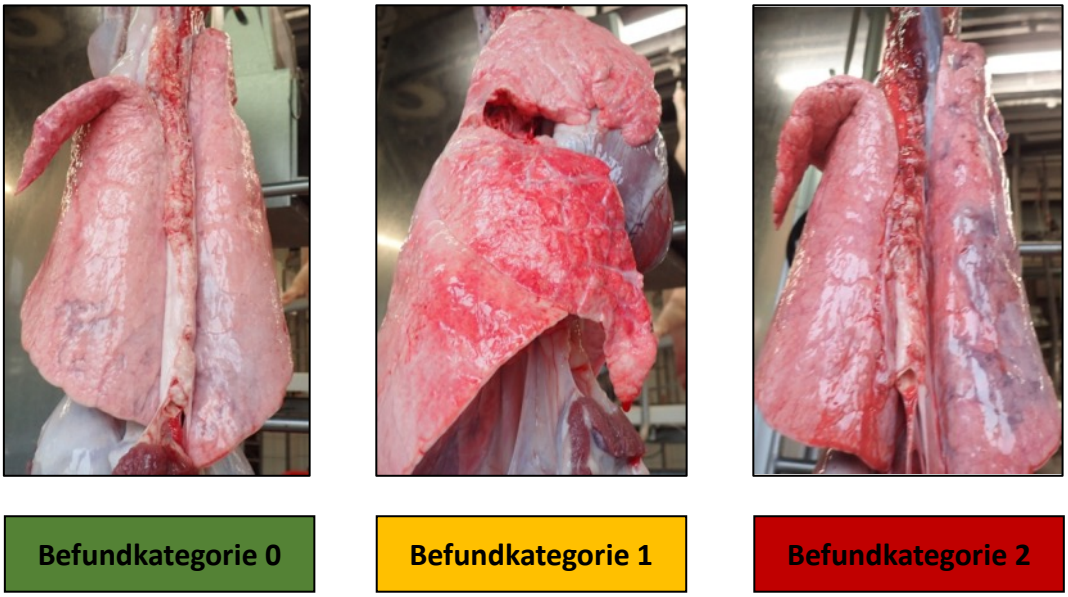


Abbildung 12: Erscheinungsbild der verschiedenen Lungenbefundkategorien nach Anlage 3 AVV LmH bei Mastschweinen am Schlachtband

In der ersten Projektphase wurden von 144 beurteilten Lungen 128 den Befundkategorien 1 und 2 zugeordnet. Die Prävalenz von pathologischen Lungenveränderungen mit mehr als 10 % veränderter Lungenfläche betrug damit 88,9 %. In Phase II wurden 65 Lungen diesen beiden Kategorien zugeteilt. Die Prävalenz lag mit 72,2 % unter der Prävalenz aus Phase I. Der Unterschied zwischen beiden Projektphasen war signifikant (p= 0,001; statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat). Für die Gesamtprävalenz innerhalb dieser Studie ergibt sich ein Wert von 82,5 %.

In beiden Phasen war die Befundkategorie 2 am häufigsten. Die Befundkategorie 0 trat jeweils am seltensten auf. Die vollständige Auflistung aller die Lungenbeurteilung betreffenden Ergebnisse findet sich in Abbildung 13.

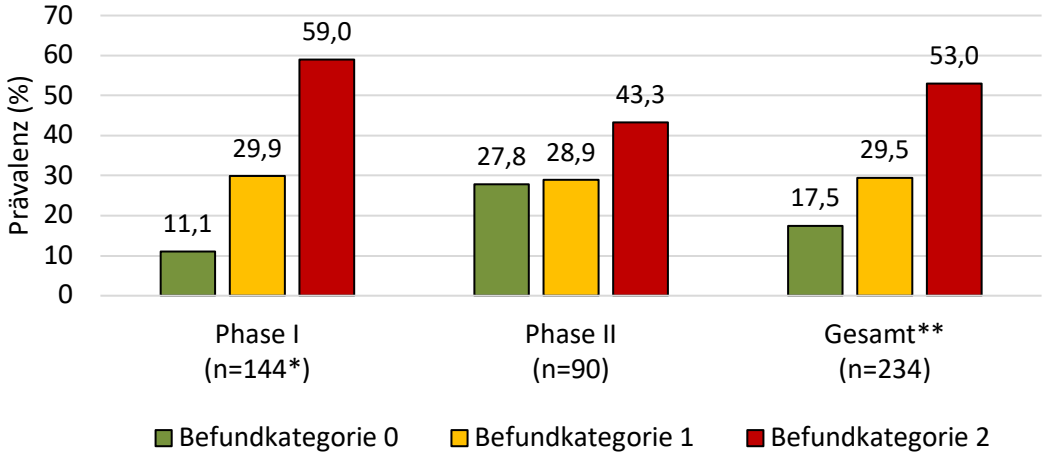


Abbildung 13: Prävalenzen pathologischer Lungenveränderungen mit unterschiedlichen Befundkategorien nach Anlage 3 AVV LmH in den verschiedenen Projektphasen

n: Anzahl untersuchter Lungen, *40 von 184 Lungen aus Phase I wurden aufgrund von technologisch bedingten Veränderungen von der Auswertung ausgeschlossen, **Die Gesamtprävalenz der Lungenveränderungen betrug 82,5 %

4.1.2.2 Lungenbefundkategorie versus Bursagrad

Für die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen dem Auftreten von akzessorischen Bursen und den dazugehörigen erhobenen Lungenbefundkategorien standen die Daten von 93 Tieren aus Phase I und 90 Tieren aus Phase II zur Verfügung, da auch hier wieder Schweine, welche vom Schlachthofpersonal auf akzessorische Schleimbeutel untersucht wurden, sowie Schweine mit Brüh- oder Stichlungen aus der Auswertung ausgeschlossen wurden (Abbildung 14).

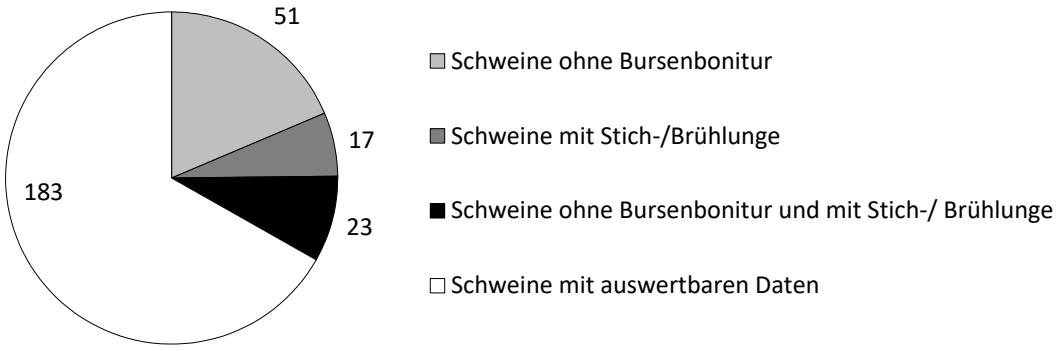


Abbildung 14: Datenlage bei der Beurteilung von Bursagrad und Lungenbefundkategorie

Schweine mit akzessorischen Schleimbeuteln hatten seltener unauffällige Lungen der Befundkategorie 0 (11,3 %) als Schweine ohne akzessorische Schleimbeutel (40,6 %) (Tabelle 23). Die Prävalenz von pathologischen Lungenveränderungen war also bei gleichzeitigem Auftreten von Hilfsschleimbeuteln höher (88,7 %) als bei fehlenden Hilfsschleimbeuteln (59,4 %).
Zudem traten schwerere Lungenveränderungen (Lungenbefundkategorie 2) bei Mastschweinen mit Hilfsschleimbeuteln deutlich häufiger auf als bei Mastschweinen ohne Hilfsschleimbeutel.
Statistisch lag hier ein schwacher signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten akzessorischer Bursen und der Häufigkeit und Schwere pathologischer Lungenveränderungen (Kendall´s tau-b: 0,236; p=0,003; statistische Methode: Kendall´s tau-b) vor.

Tabelle 23: Lungenbefundkategorien und Vorkommen akzessorischer Schleimbeutel bei Mastschweinen

Bursagrad	**n**	**Lungenbefundkategorie**		
		0	**1**	**2**
n		30	60	93
0	32	13 (40,6 %)	9 (28,1 %)	10 (31,3 %)
1 - 3	151	17 (11,3 %)	51 (33,7 %)	83 (55,0 %)

n: Anzahl untersuchter Schweine

Zudem hatten Tiere mit hohen Bursagraden häufiger auch hohe Lungenbefundkategorien (Abbildung 15).
Tiere mit Grad 3 Bursen zeigten am häufigsten Lungenveränderungen der Befundkategorie 2. Gleichzeitig hatten Schweine mit diesem Bursagrad am seltensten die Lungenbefundkategorien 0 und 1. Auch hier konnte ein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden (p=0,016; statistische Methode: Kendall´s tau-b), die Effektstärke war jedoch gering (Kendall´s tau-b: 0,165).

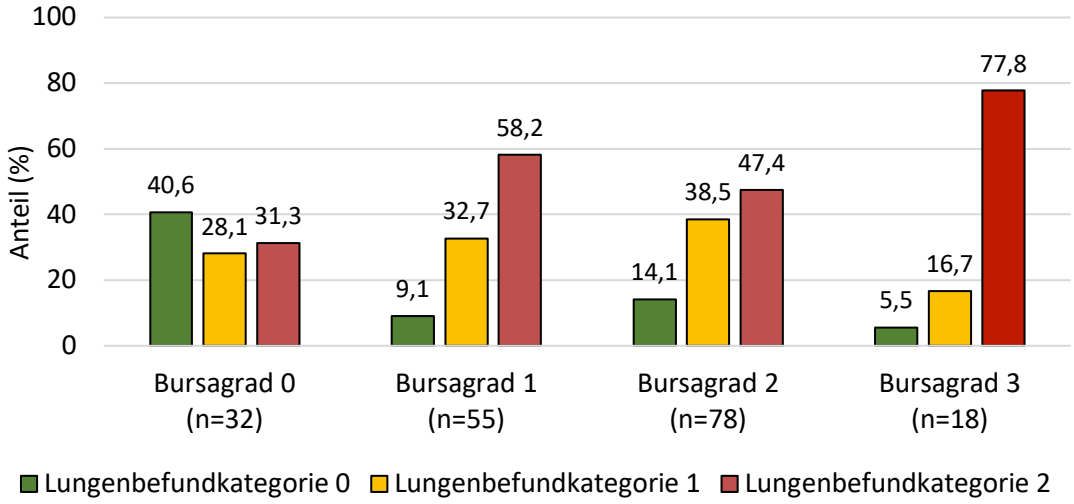


Abbildung 15: Lungenbefundkategorien und Bursagrade bei Mastschweinen

4.1.3 Schlachtkörper- und Fleischqualität

4.1.3.1 Schlachtgewicht

Das Schlachtgewicht wurde bei insgesamt 273 Schweinen erfasst. Es betrug in Phase I im Mittel 97,4 kg und in Phase II durchschnittlich 96,6 kg (Tabelle 24). Ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Phasen bestand nicht (p=0,214; statistische Methode: t-Test).

Tabelle 24: Ergebnisse der Schlachtgewichtserfassung

Schlachtgewicht	Phase I	Phase II	Gesamt
n	184	89	273
Mittelwert in kg (Standardabweichung)	97,4 (4,3)	96,6 (6,4)	97,2 (5,1)
Median in kg	97,5	96,7	97,2

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.1.1 Schlachtgewicht versus Bursagrad

Der Unterschied zwischen den Schlachtgewichten von Schweinen mit und ohne akzessorische Bursen betrug im Mittel 0,1 kg. Es bestand somit kein signifikanter Unterschied im Schlachtgewicht zwischen Tieren mit und ohne akzessorische Schleimbeuel (p=0,942; statistische Methode: Anova).

Bei den Schlachtgewichten von Tieren mit unterschiedlich stark ausgeprägten Hilfsschleimbeuteln (Tabelle 25) hatten Schweine mit Bursagrad 3 durchschnittlich ein deutlich niedrigeres Schlachtgewicht als Schweine mit anderen Bursagraden. Im Vergleich zu Tieren ohne Hilfsschleimbeutel war es um 4,3 kg geringer.

Tabelle 25: Schlachtgewichte und Bursagrade bei Mastschweinen

Schlachtgewicht	**Bursagrad**			
	0	**1**	**2**	**3**
n	35	65	81	18
Mittelwert in kg (Standardabweichung)	97,3 (6,6)	97,9 (4,9)	98,0 (5,2)	93,0 (3,7)
Median in kg	97,9	98,0	98,4	92,4

n: Anzahl untersuchter Schweine

Insgesamt bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Schlachtgewicht und den unterschiedlichen Bursagraden (p= 0,003, statistische Methode: Anova). Im Gruppenvergleich zeigte sich, dass das Schlachtgewicht von Schweinen mit Grad 3 Bursen sowohl im Vergleich zu Tieren ohne Bursen (p=0,031) also auch zu Tieren mit Grad 1 Bursen (p=0,004) und mit Grad 2 Bursen (p=0,002) signifikant niedriger war (statistische Methode: Post Hoc Test nach Bonferroni) (Abbildung 16).

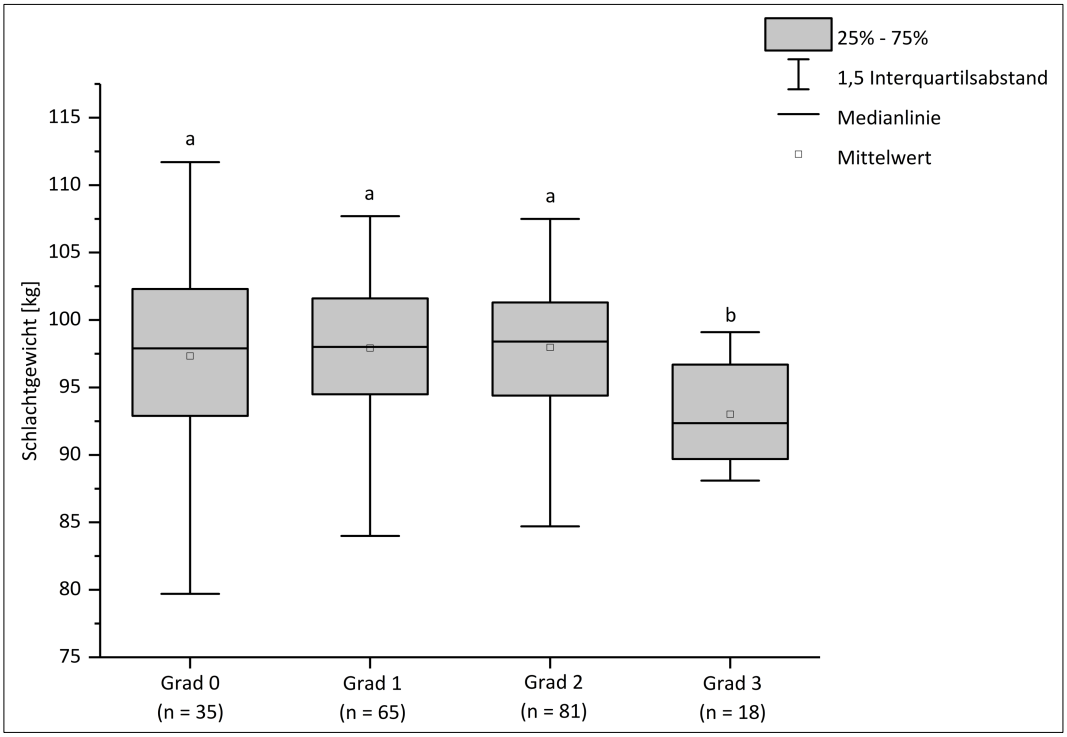


Abbildung 16: Schlachtgewichte bei Mastschweinen mit unterschiedlichen Bursagraden

4.1.3.1.2 Schlachtgewicht versus Lungenbefundkategorie

Beim Vergleich von Tieren mit unterschiedlichen Lungenbefundkategorien wurden keine statistisch relevanten Unterschiede im Schlachtgewicht beobachtet (p=0,055, statistische Methode: Anova). Das niedrigste Schlachtgewicht hatten Tiere mit der Befundkategorie 0 (Tabelle 26). Das höchste Gewicht wiesen Tiere mit der Befundkategorie 1 auf.

Tabelle 26: Schlachtgewichte und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen

Schlachtgewicht	**Lungenbefundkategorie**		
	0	**1**	**2**
n	41	68	124
Mittelwert in kg (Standardabweichung)	95,6 (5,8)	98,0 (4,2)	97,3 (5,5)
Median in kg	96,7	98,4	97,1

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.2 Muskelfleischanteil

Bei der Bestimmung des Muskelfleischanteils an insgesamt 273 Schlachtkörpern wurden in Phase I im Mittel 59,1 % und in Phase II 60,0 % gemessen (Tabelle 27). Dieser Unterschied war im t-Test signifikant (p=0,024).

Tabelle 27: Ergebnisse der Messung des Muskelfleischanteils

Muskelfleischanteil	**Phase I**	**Phase II**	**Gesamt**
n	184	89	273
Mittelwert in % (Standardabweichung)	59,1 (2,6)	60,0 (3,4)	59,4 (2,9)
Median in %	59,3	60,9	59,5

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.2.1 Muskelfleischanteil versus Bursagrad

Das Vorkommen und der Ausprägungsgrad akzessorischer Bursen hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers (p=0,827, statistische Methode: Anova). Der Mittelwert des Muskelfleischanteils bei Schweinen mit akzessorischen Schleimbeuteln lag um lediglich 0,1 % höher als bei Schweinen ohne Hilfsschleimbeutel.

Bei getrennter Betrachtung der einzelnen Bursagrade (Tabelle 28), wurden ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede ermittelt (p=0,873, statistische Methode: Anova). Tendenziell war der Muskelfleischanteil bei Schweinen mit hohem Bursagrad höher als bei Schweinen mit niedrigem Bursagrad.

Tabelle 28: Muskelfleischanteile und Bursagrade bei Mastschweinen

Muskelfleischanteil	Bursagrad			
	0	**1**	**2**	**3**
n	35	65	81	18
Mittelwert in % (Standardabweichung)	59,4 (2,6)	59,4 (2,8)	59,5 (3,3)	60,1 (3,2)
Median in %	59,6	59,4	60,0	60,4

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.2.2 Muskelfleischanteil versus Lungenbefundkategorie

Schweine mit unterschiedlichen Lungenbefundkategorien wiesen keine statistisch signifikanten Unterschiede in ihren Muskelfleischanteilen auf (p=0,187; statistische Methode: Anova). Tiere mit der Lungenbefundkategorie 2 hatten jedoch den höchsten mittleren Muskelfleischanteil, während Tiere mit der Befundkategorie 0 durchschnittlich den niedrigsten Muskelfleischanteil zeigten (Tabelle 29).

Tabelle 29: Muskelfleischanteile und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen

Muskelfleischanteil	Lungenbefundkategorie		
	0	**1**	**2**
n	41	68	124
Mittelwert in % (Standardabweichung)	58,9 (3,3)	59,1 (2,9)	59,7 (2,8)
Median in %	59,4	59,1	59,7

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.3 pH_{45}-Werte

In beiden Projektphasen wurde bei insgesamt 271 Mastschweinen der pH-Wert 45 Minuten (pH_{45}) nach der Schlachtung im M. longissimus dorsi erfasst. Der Mittelwert der gemessenen pH-Werte war in Phase I 6,4 und in Phase II 6,7 (Tabelle 30). Damit lag ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Phasen vor (p≤0,001, statistische Methode: t-Test). Bis auf einen Schlachtkörper, bei dem ein pH_{45} von 5,4 gemessen wurde, lagen alle Einzelwerte im Normbereich (> 5,6).

Tabelle 30: Ergebnisse der pH45-Messung im M. longissimus dorsi

pH_{45}	Phase I	Phase II	Gesamt
n	184	87	271
Mittelwert (Standardabweichung)	6,4 (0,3)	6,7 (0,2)	6,5 (0,3)
Median	6,4	6,7	6,5

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.3.1 pH_{45} versus Bursagrad

Die pH_{45}-Werte von Schweinen mit und ohne akzessorische Bursen unterschieden sich nicht. Der Mittelwert lag in beiden Fällen bei 6,5. Auch die mittleren pH_{45}-Werte von Schweinen mit unterschiedlichen Bursagraden (Tabelle 31) zeigten keine signifikanten Unterschiede (p=0,412; statistische Methode: Anova). Es fällt dennoch auf, dass Tiere mit Grad 3 Bursen den höchsten durchschnittlichen pH_{45}-Wert aufwiesen.

Tabelle 31: pH_{45} im M. longissimus dorsi und Bursagrade bei Mastschweinen

pH_{45}	Bursagrad			
	0	**1**	**2**	**3**
n	34	64	81	18
Mittelwert (Standardabweichung)	6,5 (0,3)	6,4 (0,3)	6,5 (0,3)	6,6 (0,4)
Median	6,5	6,4	6,5	6,7

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.3.2 pH_{45} versus Lungenbefundkategorie

Tiere mit unauffälligen Lungenbefunden (Befundkategorie 0) zeigten einen mittleren pH_{45}-Wert von 6,7, während bei Schweinen mit pathologischen Lungenbefunden (Befundkategorie 1 oder 2) ein Mittelwert von 6,5 gemessen wurde (Tabelle 32).

Dieser Unterschied im nach 45 Minuten gemessenen pH-Wert zwischen Schweinen mit unterschiedlichen Lungenbefundkategorien erwies sich insgesamt als signifikant (p=0,001, statistische Methode: Anova).

Die Signifikanzen bestanden dabei im pH-Unterschied sowohl zwischen Schweinen mit den Lungenbefundkategorien 0 und 1 (p=0,005) als auch zwischen Tieren mit den Befundkategorien 0 und 2 (p=0,001) (statistische Methode: Post Hoc Test nach Bonferroni). Abbildung 17 stellt die Ergebnisse graphisch dar.

Tabelle 32: pH_{45} im M. longissimus dorsi und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen

pH_{45}	**Lungenbefundkategorie**		
	0	**1**	**2**
n	39	68	124
Mittelwert (Standardabweichung)	6,7 (0,2)	6,5 (0,3)	6,5 (0,3)
Median	6,6	6,5	6,5

n: Anzahl untersuchter Schweine

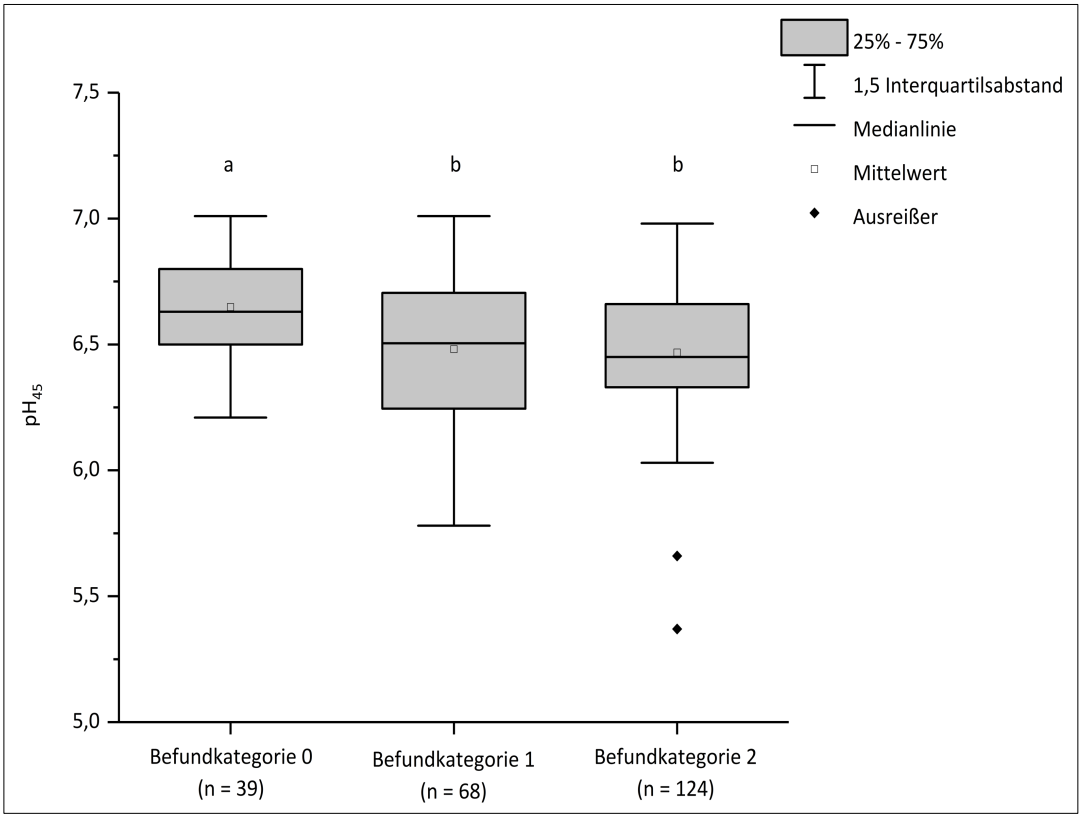


Abbildung 17: Ergebnisse der pH_{45}-Messung bei Mastschweinen mit unterschiedlichen Lungenbefundkategorien

4.1.3.4 pH_{24}-Werte

Neben dem pH_{45}-Wert wurde in Phase I zusätzlich bei 184 Schweinen der pH-Wert 24 Stunden nach der Schlachtung (pH_{24}) im M. longissimus dorsi erfasst. Sowohl der Mittelwert als auch der Median aller gemessenen pH-Werte lag bei 5,4. Alle Werte lagen unter 5,6 und damit im Normbereich (< 6,2).

4.1.3.4.1 pH_{24} versus Bursagrad

Schweine mit den Bursagraden 0, 1 und 3 hatten pH_{24}-Mittelwerte von 5,4. Tiere mit Grad 2 Bursa wiesen einen um 0,1 höheren pH-Wert auf (Tabelle 33). Ein signifikanter Unterschied war nicht feststellbar (p=0,137; statistische Methode: Anova).

Tabelle 33: pH_{24} im M. longissimus dorsi und Bursagrade bei Mastschweinen

pH_{24}	**Bursagrad**			
	0	**1**	**2**	**3**
n	17	43	46	4
Mittelwert (Standardabweichung)	5,4 (0,1)	5,4 (0,1)	5,5 (0,1)	5,4 (0,1)
Median	5,4	5,4	5,5	5,4

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.4.2 pH_{24} versus Lungenbefundkategorie

Auch bei Schweinen mit unterschiedlichen Lungenbefundkategorien konnte kein signifikanter Unterschied im pH-Wert 24 Stunden nach der Schlachtung festgestellt werden (p=0,661; statistische Methode: Anova) (Tabelle 34).

Tabelle 34: pH_{24} im M. longissimus und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen

pH_{24}	**Lungenbefundkategorie**		
	0	**1**	**2**
n	16	43	85
Mittelwert (Standardabweichung)	5,4 (0,1)	5,4 (0,1)	5,4 (0,1)
Median	5,4	5,4	5,4

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.5 Elektrische Leitfähigkeit

Als weiterer Parameter zur Erfassung der Fleischqualität wurde bei 184 Schlachtkörpern in Phase I des Projektes die elektrische Leitfähigkeit in mS/cm 24 Stunden nach der Schlachtung im M. longissimus dorsi gemessen. Der Mittelwert lag bei 3,1 mS/cm, der Median bei 2,9 mS/cm.

4.1.3.5.1 Elektrische Leitfähigkeit versus Bursagrad

Zudem wurde die elektrische Leitfähigkeit von Schweineschlachtkörpern ohne akzessorische Bursen mit der von Schlachtkörpern mit akzessorischen Bursen verglichen. Der Unterschied betrug 0,3 mS/cm, war jedoch nicht signifikant (p=0,275; statistische Methode: Anova).

Bei Tieren ohne Hilfsschleimbeutel lag die mittlere elektrische Leitfähigkeit bei 3,4 mS/cm, während bei Tieren mit Hilfsschleimbeuteln im Durchschnitt 3,1 mS/cm gemessen wurden (Tabelle 35). Der Ausprägungsgrad der akzessorischen Bursen hatte dabei keinen statistisch signifikanten Einfluss (p=0,137; statistische Methode: Anova).

Tabelle 35: Elektrische Leitfähigkeit im M. longissimus dorsi und Bursagrade bei Mastschweinen

Elektrische Leitfähigkeit	**Bursagrad**			
	0	**1**	**2**	**3**
n	17	43	46	4
Mittelwert in mS/cm (Standardabweichung)	3,4 (1,3)	3,1 (0,9)	3,1 (0,9)	3,1 (1,0)
Median in mS/cm	2,9	2,9	3,0	3,1

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.1.3.5.2 Elektrische Leitfähigkeit versus Lungenbefundkategorie

Die Messwerte der elektrischen Leitfähigkeit bei Schweinen mit unterschiedlichen Lungenbefundkategorien (Tabelle 36) unterschieden sich nicht signifikant (p=0,216; statistische Methode: Anova). Den höchsten durchschnittlichen Messwert hatten Tiere mit der Lungenbefundkategorie 1. Ein Trend war nicht erkennbar.

Tabelle 36: Elektrische Leitfähigkeit im M. longissimus dorsi und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen

Elektrische Leitfähigkeit	**Lungenbefundkategorie**		
	0	**1**	**2**
n	16	43	85
Mittelwert in mS/cm (Standardabweichung)	2,8 (0,6)	3,2 (0,9)	3,1 (0,9)
Median in mS/cm	2,6	3,1	2,8

n: Anzahl untersuchter Schweine

4.2 Mikrobiologie

4.2.1 Akzessorische Schleimbeutel

Von 99 Schweinen aus der ersten Projektphase wurden insgesamt 141 akzessorische Bursen einzeln mikrobiologisch untersucht. Bei 96 Bursen (68,1 %) war kulturell kein Bakterienwachstum nachweisbar. Bei 45 untersuchten Schleimbeuteln (31,9 %) ließen sich Bakterien aus 22 verschiedenen Gattungen anzüchten.

Am häufigsten waren die Gattungen *Streptococcus* und *Staphylococcus* vertreten. Diese fanden sich in 36 bzw. 32 untersuchten Bursen. Daneben wurden in mehreren Schleimbeuteln auch die Gattungen *Haemophilus* (n=7), *Lactobacillus* (n=7), *Macrococcus* (n=7), *Escherichia* (n=6) und *Moraxella* (n=5) identifiziert (Abbildung 18).

Innerhalb der Gattung *Streptococcus* wurde die Spezies *Streptococcus suis* am häufigsten detektiert (n=24). Elf Schleimbeutel enthielten *Streptococcus alactolyticus*, zehn *Streptococcus dysgalactiae* und jeweils zwei *Streptococcus mitis* und *Streptococcus pneumoniae*. *Streptococcus ferus*, *Streptococcus hyointestinalis*, *Streptococcus oralis* und *Streptococcus orisratti* waren in je einer Bursa nachweisbar. Sechsmal konnte nur auf Gattungsebene identifiziert werden (Abbildung 19).

Staphylococcus warneri war die am häufigsten nachgewiesene *Staphylococcus*-Spezies (n=20). Daneben fanden sich *Staphylococcus epidermidis* (n=18), *Staphylococcus aureus* (n=5), *Staphylococcus hominis* (n=1) und *Staphylococcus pasteuri* (n=1). Dreimal konnte nur auf Gattungsebene identifiziert werden.

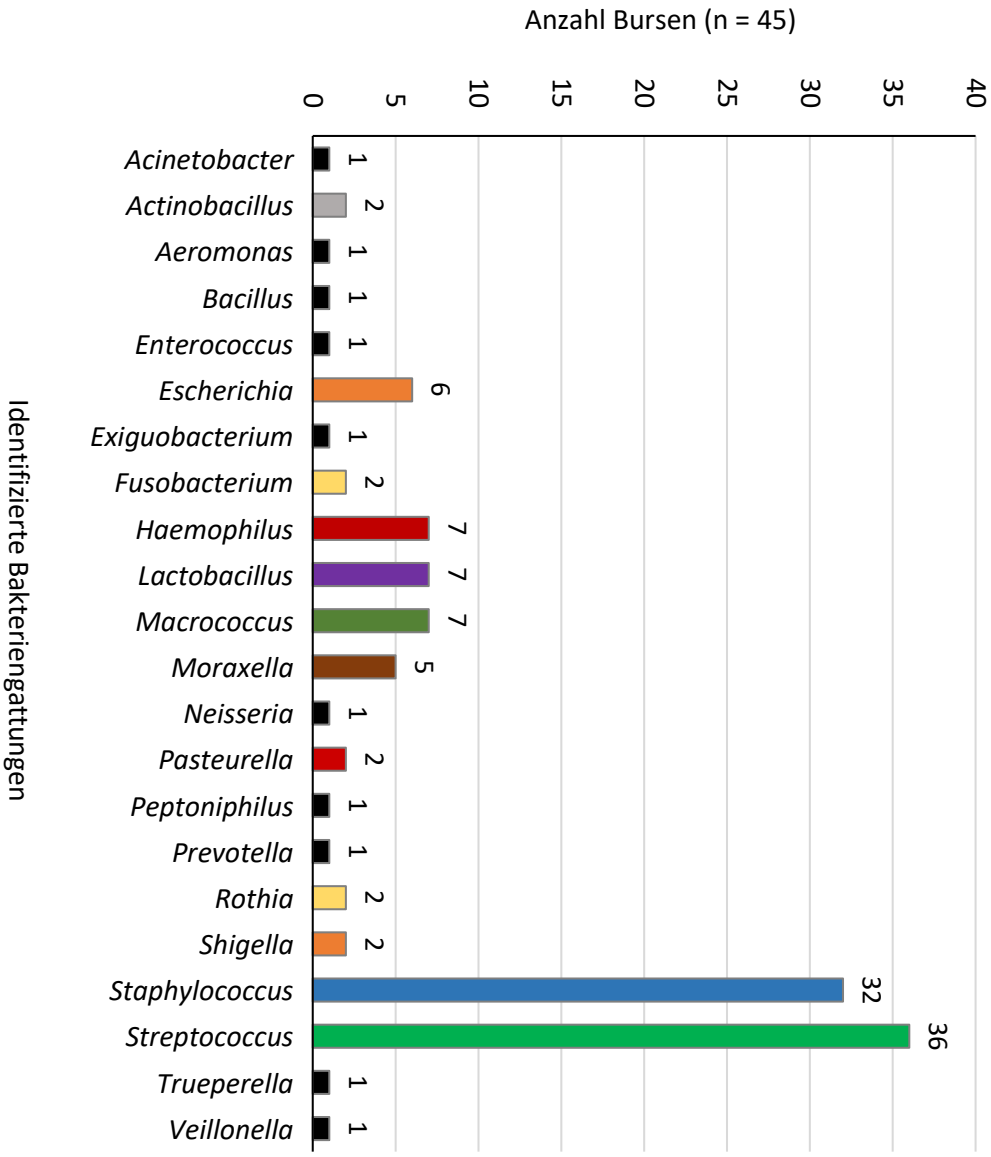


Abbildung 18: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von 45 akzessorischen Bursen (Gattungsebene)

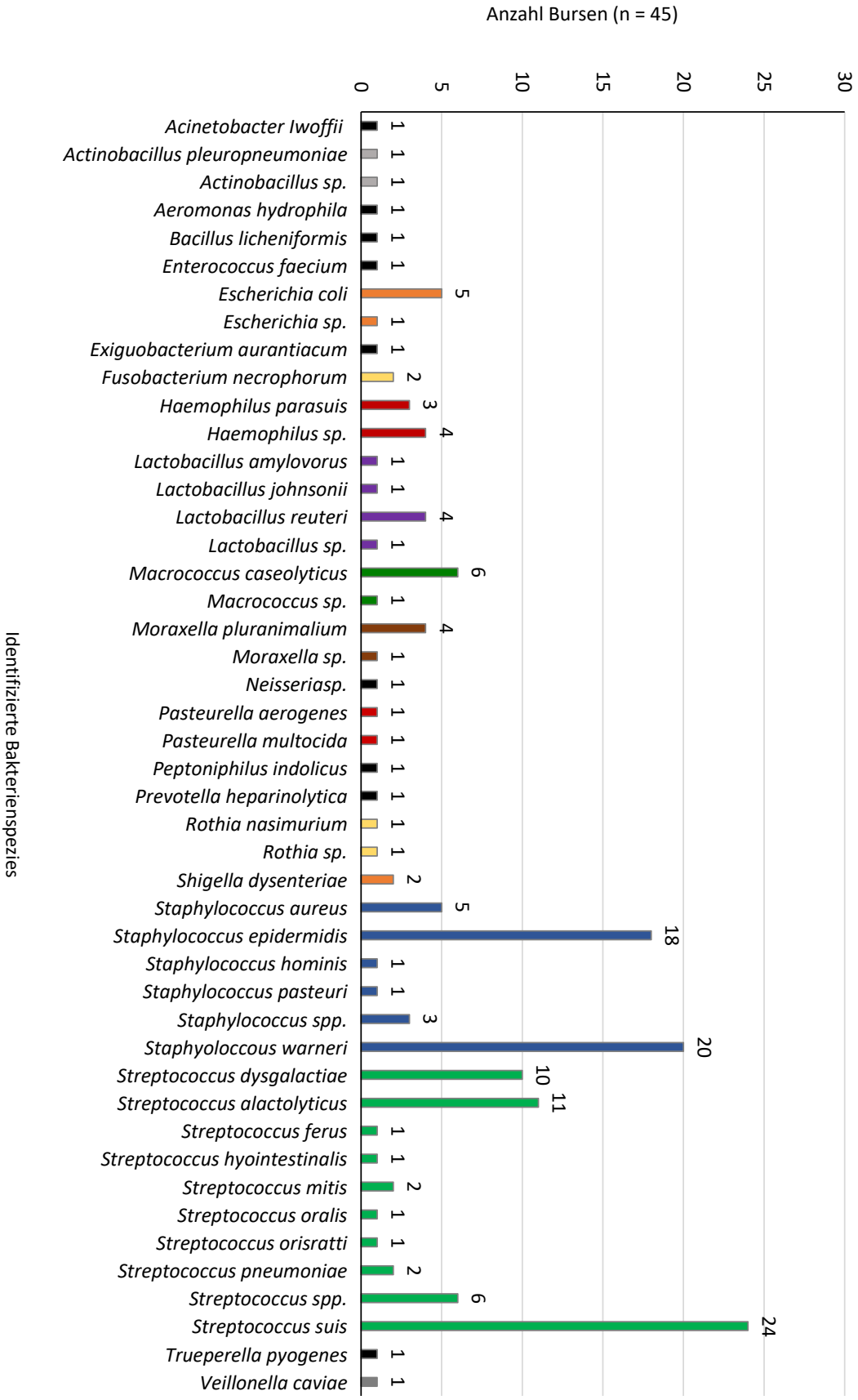


Abbildung 19: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von 45 akzessorischen Bursen (Speziesebene)

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Ergebnis der mikrobiologischen Untersuchung und dem Grad des untersuchten akzessorischen Schleimbeutels konnte mit einem Effektmaß Cramer`s V von 0,068 und p=0,805 (statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat) nicht nachgewiesen werden.
Dennoch wurden in Hilfsschleimbeuteln mit hohem Bursagrad häufiger Bakterien nachgewiesen als dies bei Hilfsschleimbeuteln mit niedrigem Bursagrad der Fall war (Tabelle 37). Bei der Untersuchung der Grad 1 Bursen waren 28,8 % mikrobiologisch positiv, bei Grad 2 Bursen bereits 32,9 % und bei den Grad 3 Bursen sogar 50 %. Allerdings war der Stichprobenumfang der Hilfsschleimbeutel vom Grad 3 mit n=4 sehr gering.

Tabelle 37: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung und Bursagrade

Bakterienwachstum	**Bursagrad**		
	1	**2**	**3**
n	52	85	4
nein	37 (71,2 %)	57 (67,1 %)	2 (50,0 %)
ja	15 (28,8 %)	28 (32,9 %)	2 (50,0 %)

n: Menge untersuchter Hilfsschleimbeutel

Bei der Gesamtanzahl der Bakterien konnte ebenfalls kein statistisch signifikanter Einfluss des Bursagrades nachgewiesen werden (p=0,365; statistische Methode: Kendall´s tau-c). Dennoch war der Anteil an Schleimbeuteln mit einer hohen Keimanzahl bei Hilfsschleimbeuteln vom Grad 3 am größten (Abbildung 20).
Bei allen mikrobiologisch positiven ulzerierten Schleimbeuteln (Grad 3) wurde eine hohe Keimanzahl festgestellt. Hier war der Probenumfang mit n=4 allerdings sehr klein. Akzessorische Schleimbeutel mit den Bursagraden 1 und 2 wiesen meistens eine geringe Bakterienanzahl auf.

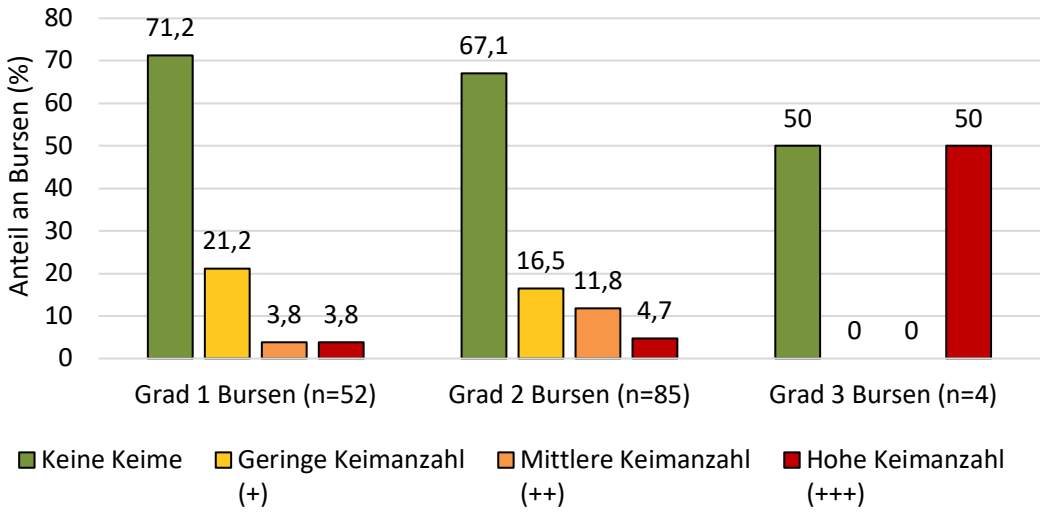


Abbildung 20: Gesamtanzahl nachgewiesener Bakterien und Bursagrade

Die mittlere Anzahl der identifizierten Bakterienspezies pro Bursa war bei Hilfsschleimbeuteln mit Bursagrad 3 besonders hoch (Tabelle 38). Allerdings lag auch hier kein statistisch signifikanter Unterschied zu anderen Bursagraden vor (p= 0,569; statistische Testmethode: Kruskal-Wallis-Test).

Tabelle 38: Anzahl nachgewiesener Bakterienspezies und Bursagrade

Anzahl nachgewiesener Bakterienspezies	**Bursagrad**		
	1	**2**	**3**
n	52	85	4
Mittelwert (Standardabweichung)	1,0 (2,1)	1,2 (2,0)	2,3 (2,6)
Median	0,0	0,0	2,0

n: Menge untersuchter Hilfsschleimbeutel

4.2.2 Lungen

Es wurden 144 Lungen mikrobiologisch untersucht. Bei 94 Lungen (65,3 %) war kulturell auf Schafsblut- und Schokoladenagar unter aeroben bzw. mikroaerophilen Anzuchtbedingungen Bakterienwachstum nachweisbar. Diese Bakterien gehörten 34 verschiedenen Gattungen an. Die anderen 50 Lungenproben (34,7 %) blieben ohne Nachweis von Bakterien.

Am häufigsten trat die Gattung *Streptococcus* (n=65) auf. Daneben wurden auch *Moraxella* (n=37), *Escherichia* (n=35), *Bacillus* (n=31), *Rothia* (n=30), *Actinobacillus* (n=27), *Haemophilus* (n=20), *Lactobacillus* (n=17) und *Staphylococcus* (n=17) vermehrt nachgewiesen (Abbildung 21).

Innerhalb der Gattung *Streptococcus* dominierte die Spezies *Streptococcus suis* (n=53). Bei der Gattung *Moraxella* handelte es sich bei fast allen auf Speziesebene identifizierten Keimen um *Moraxella pluranimalium* (n=29).

Escherichia coli trat bei 33 Lungen auf. Bei den nachgewiesenen *Bacillus* spp. wurde ausschließlich *Bacillus pumilus* identifiziert, bei der Gattung *Rothia* spp. die Spezies *Rothia nasimurium* und *Rothia mucilaginosa*. *Actinobacillus* konnte in den meisten Lungen nur auf Gattungsebene identifiziert werden. Auch die Gattung *Haemophilus* konnte dreizehnmal nicht näher identifiziert werden. In sieben Fällen wurde die Spezies *Haemophilus parasuis* bestätigt. Innerhalb der Gattung *Lactobacillus* war *Lactobacillus johnsonii* die häufigste Spezies. Bei den Staphylokokken traten verschiedenste Spezies ähnlich häufig auf. In Abbildung 22 ist eine vollständige Übersicht über alle identifizierten Bakterienspezies dargestellt.

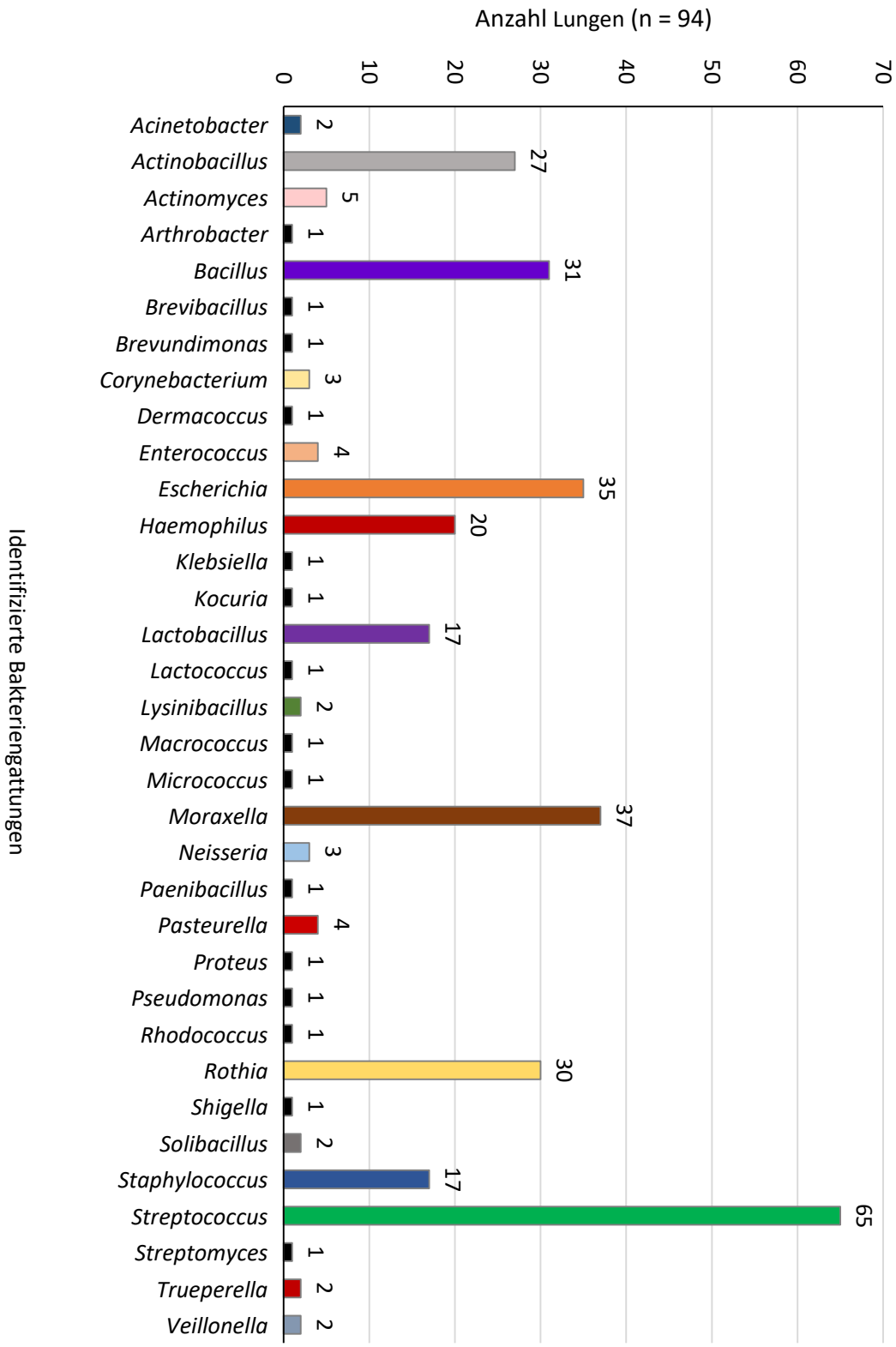


Abbildung 21: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von 94 Lungen (Gattungsebene)

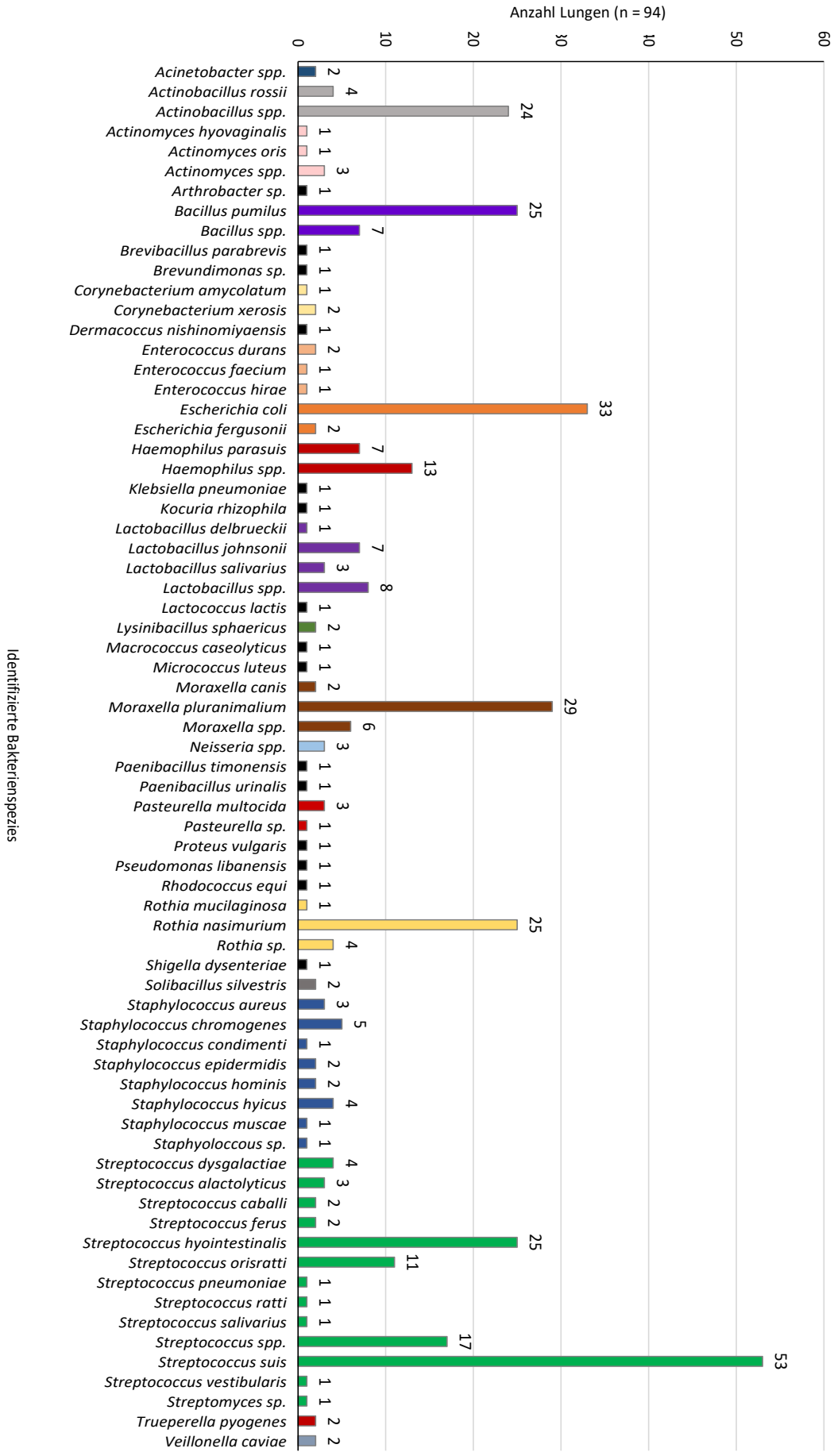


Abbildung 22: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von 94 Lungen (Speziesebene)

4.2.2.1 Mikrobiologie versus Lungenbefundkategorie

In Lungen der Befundkategorie 0 waren im Vergleich zu allen anderen Lungenbefundkategorien prozentual am seltensten Bakterien nachweisbar (Tabelle 39). Statistisch lag aber kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Befundkategorien vor (p=0,759; statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat).

Tabelle 39: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung und Lungenbefundkategorien

Bakterienwachstum	**Lungenbefundkategorie**		
	0	**1**	**2**
n	16	43	85
nein	6 (37,5 %)	13 (30,2 %)	31 (36,5 %)
ja	10 (62,5 %)	30 (69,8 %)	54 (63,5 %)

n= Anzahl untersuchter Schlachtlungen

Bei der Anzahl der identifizierten Bakterienspezies konnte ebenfalls kein statistisch relevanter Unterschied zwischen den Lungenbefundkategorien festgestellt werden (p=0,889; statistische Methode: Kendall´s tau-c). Im Durchschnitt hatten Lungen der Kategorie 0 die meisten verschiedenen Bakterienspezies, beim Median erreichten Lungen der Befundkategorie 2 den höchsten Wert (Tabelle 40).

Tabelle 40: Anzahl nachgewiesener Bakterienspezies und Lungenbefundkategorien

Anzahl nachgewiesener Bakterienspezies	**Lungenbefundkategorie**		
	0	**1**	**2**
n	16	43	85
Mittelwert (Standardabweichung)	3,1 (3,0)	2,7 (2,7)	2,8 (3,2)
Median	3,0	2,7	3,2

n= Anzahl untersuchter Schlachtlungen

Auch die Gesamtanzahlen der nachgewiesenen Bakterien bei unterschiedlichen Lungenbefundkategorien (Abbildung 23) zeigte keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem mikrobiologischen Lungenbefund und der Befundkategorie auf (p=0,611; statistische Methode: Kruskal-Wallis-Test).

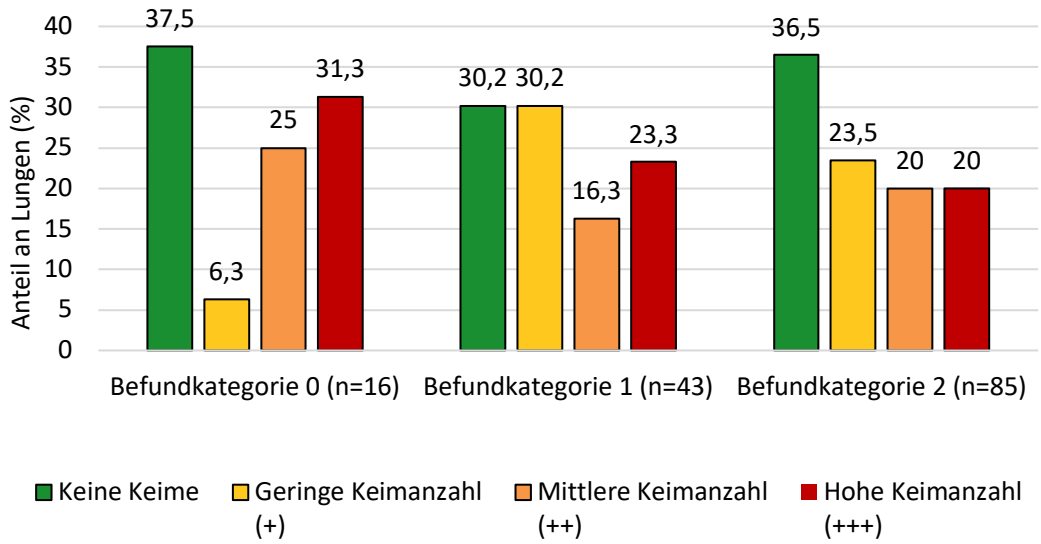


Abbildung 23: Gesamtanzahl nachgewiesener Bakterien und Lungenbefundkategorien

4.2.2.2 Mikrobiologie Lungen versus Mikrobiologie Bursen

Bei 81 Tieren lagen sowohl mikrobiologische Ergebnisse zur Lunge als auch zu mindestens einem akzessorischen Schleimbeutel vor (Tabelle 41).

Statistisch betrachtet bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auffinden von Bakterien in der Lunge und in den akzessorischen Bursen (p=0,774; statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat). Bei Schweinen mit nachgewiesenem Bakterienwachstum in der Lunge wurden aber häufiger auch in den Hilfsschleimbeuteln Bakterien gefunden, als dies bei Schweinen der Fall war, die kein Bakterienwachstum in der Lunge zeigten.

Tabelle 41: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von akzessorischen Schleimbeuteln und Lungen

Bakterienwachstum Bursen	**Bakterienwachstum Lungen**	
	nein	**ja**
n	26	55
nein	16 (61,5 %)	32 (58,2 %)
ja	10 (38,5 %)	23 (41,8 %)

n= Anzahl untersuchter Tiere

Auch bei der Gesamtanzahl an Bakterien, der Anzahl der verschiedenen nachgewiesenen Bakterienspezies und beim Nachweis einzelner Bakteriengruppen bestanden keine signifikante Zusammenhänge zwischen den Befunden der Lunge und den Befunden der akzessorischen Schleimbeutel (statistische Methoden: Pearson Chi-Quadrat, Kendall´s tau-c, Kruskal-Wallis-Test) (Tabelle 42).

Tabelle 42: Zusammenhänge mikrobiologischer Parameter bei Lungen und akzessorischen Schleimbeuteln

Bakterienwachstum Lunge	Bakterienwachstum Bursa	Signifikanzniveau p
Gesamtanzahl Bakterien	Gesamtanzahl Bakterien	0,695**
Anzahl Spezies	Anzahl Spezies	0,269***
Aerobier	Aerobier	0,096*
Anaerobier	Anaerobier	-*
Fakultative Anaerobier	Fakultative Anaerobier	0,544*
Grampositive Bakterien	Grampositive Bakterien	0,879*
Gramnegative Bakterien	Gramnegative Bakterien	0,317*

-: keine ausreichende Datenlage (0 Schweine, bei denen Anaerobier gleichzeitig in Lunge und Bursa nachgewiesen wurden), * getestet mit Pearson Chi-Quadrat, ** mit Kendal´s tau-c, *** mit Kruskal-Wallis-Test

In den untersuchten Lungen wurden vorwiegend aerobe und fakultativ anaerobe Bakteriengattungen identifiziert, in den akzessorischen Schleimbeuteln dagegen zum Großteil fakultative Anaerobier (Abbildung 24).

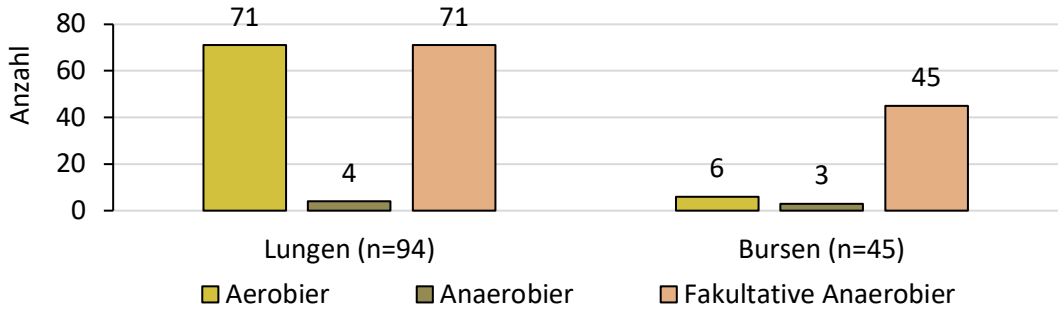


Abbildung 24: Nachgewiesene Bakteriengruppen in Lungen und Bursen

Dieselbe Bakterienspezies war nur selten gleichzeitig in der Lunge und den Bursen des gleichen Schweines zu finden. Lediglich bei 14 Tieren war dies der Fall (Tabelle 43). Bei den meisten Schweinen (n=9) handelte es sich dabei um die Spezies *Streptococcus suis*.

Tabelle 43: Gleichzeitig in Lunge und Bursa auftretende Bakterienspezies und -kombinationen

Nachgewiesene Bakterien	n
Streptococcus suis	9
Streptococcus suis und *Escherichia coli*	1
Streptococcus suis und *Streptococcus hyointestinalis*	1
Streptococcus suis, Streptococcus alactolyticus, Lactobacillus reuteri und *Moraxella pluranimalium*	1
Staphylococcus warneri	1
Trueperella pyogenes	1

n: Anzahl Tiere

4.3 Molekularbiologie

4.3.1 Akzessorische Schleimbeutel

4.3.1.1 Prävalenz von Mykoplasmen

Die 141 akzessorischen Schleimbeutel von 99 Tieren aus der ersten Projektphase wurden mittels PCR auf *Mycoplasma hyopneumoniae* (Mhyo), *Mycoplasma hyorhinis* (Mhr) und *Mycoplasma hyosynoviae* (Mhs) untersucht.

Insgesamt war in 110 der 141 Schleimbeutel (78,0 %) Mykoplasmen-DNA von mindestens einer der drei Spezies nachweisbar (Gesamtprävalenz). Die Untersuchung von 31 Bursen (22,0 %) lieferte ein negatives PCR-Ergebnis. Die höchste Prävalenz zeigte Mhyo mit 76,6 % (Tabelle 44).

Tabelle 44: Prävalenzen von Mykoplasmen in 141 untersuchten akzessorischen Schleimbeuteln

	positiv [n (%)]	**negativ [n (%)]**
Mhyo	108 (76,6)	33 (23,4)
Mhr	52 (36,9)	89 (63,1)
Mhs	15 (10,6)	126 (89,4)

n: Anzahl untersuchter Schleimbeutel; Mhyo: *Mycoplasma hyopneumoniae*, Mhr: *Mycoplasma hyorhinis*, Mhs: *Mycoplasma hyosynoviae*

4.3.1.2 Prävalenz versus Bursagrad

Die Prävalenzunterschiede zwischen verschiedenen Bursagraden (Tabelle 45) erwiesen sich weder bei der Gesamtprävalenz noch bei den Prävalenzen der einzelnen Mykoplasmenspezies als statistisch signifikant (statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat).

Dennoch waren sowohl die Gesamtprävalenz als auch die Einzelprävalenzen bei Hilfsschleimbeuteln mit hohen Bursagraden größer als bei Hilfsschleimbeuteln mit niedrigen Bursagraden.

Tabelle 45: Prävalenzen von Mykoplasmen und Bursagrade

	Prävalenz			**Signifikanzniveau p***
	Bursagrad 1 (n=52)	**Bursagrad 2 (n=85)**	**Bursagrad 3 (n=4)**	
Mhyo	73,1 %	77,6 %	100,0 %	0,442
Mhr	40,4 %	32,9 %	75,0 %	0,188
Mhs	17,3 %	5,9 %	25,0 %	0,070
Gesamtprävalenz	75,0 %	78,8 %	100,0 %	0,488

n: Anzahl untersuchter Schleimbeutel; Mhyo: *Mycoplasma hyopneumoniae*, Mhr: *Mycoplasma hyorhinis*, Mhs: *Mycoplasma hyosynoviae*, * statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat

4.3.2 Lungen

In zwei Lungen (1,4 %) wurde Mykoplasmen-DNA nachgewiesen, wobei es sich einmal um DNA von Mhyo und einmal um DNA von Mhr handelte. Beide Schlachtlungen wurden mit der Befundkategorie 2 beurteilt. Die restlichen 142 Proben lieferten ein negatives PCR-Ergebnis.

4.4 Makroskopische Befunde

Während der Präparation im Labor zeigten die akzessorischen Schleimbeutel ein sehr differenziertes makroskopisches Erscheinungsbild (Abbildung 25). Manche Bursen hatten eine deutlich erkennbare derbe Wand, mit der sie sich vom umliegenden Gewebe abkapselten. Sie wiesen eine glatte innere Oberfläche auf, waren blassrosa und mit einer serösen und farblosen bis leicht gelblichen Flüssigkeit gefüllt. Abbildung 25 a) zeigt exemplarisch eine solche Bursa. Sie wurde bei der Untersuchung am Schlachthof als Grad 1 beurteilt.

In Abbildung 25 b) ist eine sehr kleine Bursa mit einer Kavität von etwa einem Zentimeter im Durchmesser dargestellt, die bei der Untersuchung kaum zu sehen war und ebenfalls mit Grad 1 bewertet wurde. Das Innere erschien bei der Präparation stark gerötet und es ragten fadenartige Gebilde ins Lumen, bei denen es sich um Fibrinfäden handelte.

Einige Schleimbeutel waren gekammert, wie es in Abbildung 25 c) zu erkennen ist. Bei einem Teil dieser Schleimbeutel erschienen die Septen sehr derb und trennten die Kammern vollständig voneinander ab. Bei anderen Schleimbeuteln waren die Kammerwände dagegen sehr dünn und durchscheinend. Zudem standen die einzelnen Hohlräume miteinander in Verbindung, so dass ein Austausch der enthaltenen Flüssigkeit möglich war.

Abbildung 25 d) zeigt einen Hilfsschleimbeutel vom Grad 2, der sich bei der Untersuchung bereits sehr derb anfühlte. Sein Lumen enthielt nur sehr wenig klare Flüssigkeit. Stattdessen ragten zottenartige Fortsätze in das Lumen und verlegten es fast vollständig.

Die Bursa in Abbildung 25 e) war durch eine sehr dünne glatte Wand mit hochgradig geröteten Bereichen gekennzeichnet. Es handelte sich hier um einen Schleimbeutel vom Grad 2, der im Durchmesser etwa 10 cm maß.

Auch Mischformen der bereits beschriebenen Erscheinungsformen traten auf. In Abbildung 25 f) sieht man eine Grad 2 Bursa, die sowohl glatte als auch zottentragende Wandbereiche aufwies und zudem stark gerötet war. In der Tiefe ist geronnenes Blut zu erkennen.

Der Hilfsschleimbeutel in Abbildung 25 g) zeigt ein Exemplar einer infizierten Grad 3 Bursa, das eine jauchige Flüssigkeit und darin schwimmende Gewebeteile enthielt.

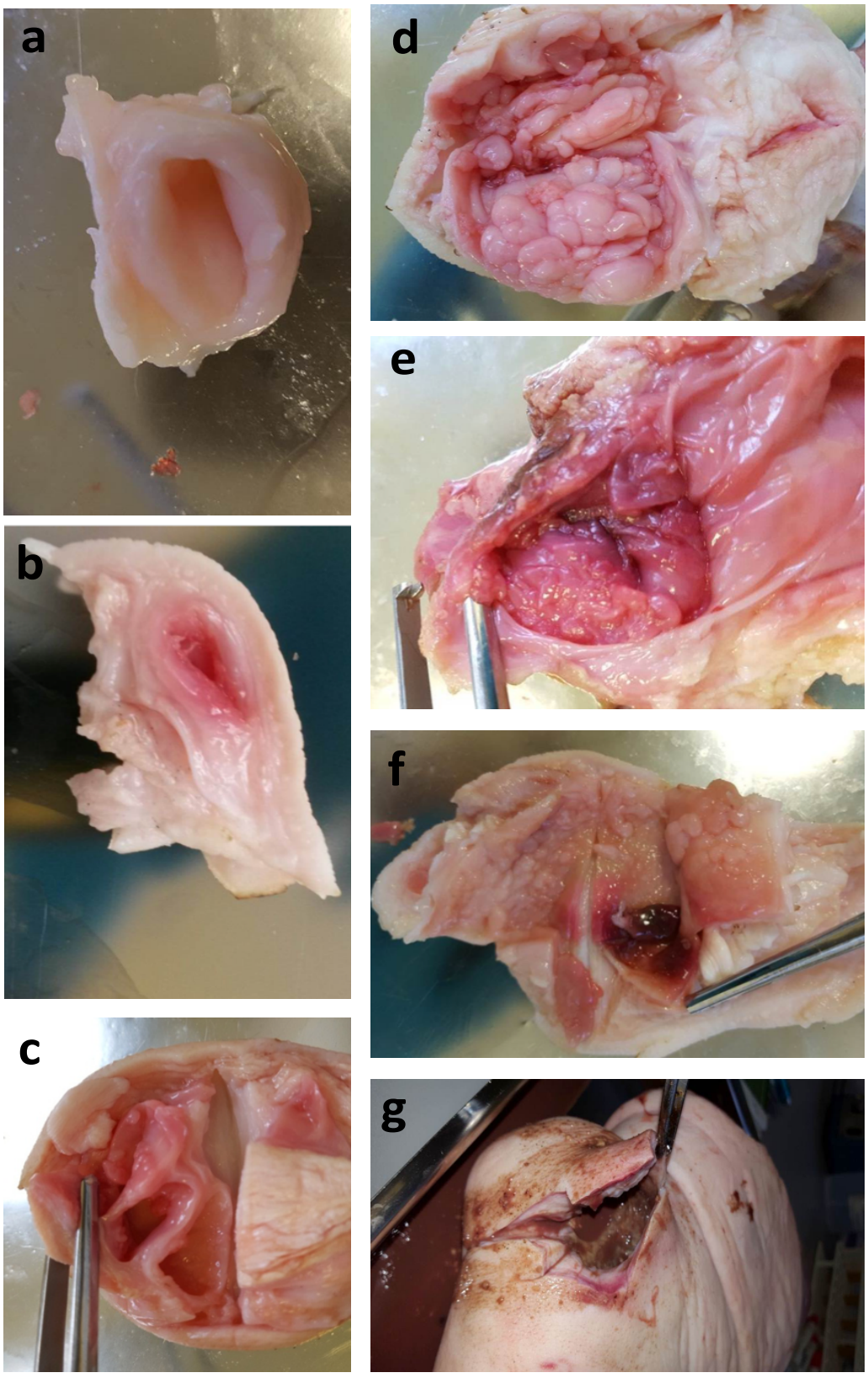


Abbildung 25: Makroskopisches Erscheinungsbild akzessorischer Bursen

a - g: Unterschiedliche Befunde im Bursa-Inneren nach Anschnitt; genaue Beschreibung: siehe vorangegangener Text

4.5 Histopathologie

4.5.1 Prävalenzen der Entzündungstypen

Insgesamt wurden 152 akzessorische Schleimbeutel von 102 verschiedenen Mastschweinen histopathologisch beurteilt und nach dem von Papsthard (1989) entworfenen Schema verschiedenen Entzündungstypen zugeordnet oder als „Bursa ohne besonderen Befund“ bewertet (Tabelle 22).
Alle untersuchten Bursen wiesen entzündlichen Charakter auf (Abbildung 26). Schleimbeutel ohne besonderen Befund kamen nicht vor. Am häufigsten trat der reife Entzündungstyp auf, gefolgt vom floriden Entzündungstyp, dem Mischtyp und dem Abszesstyp.

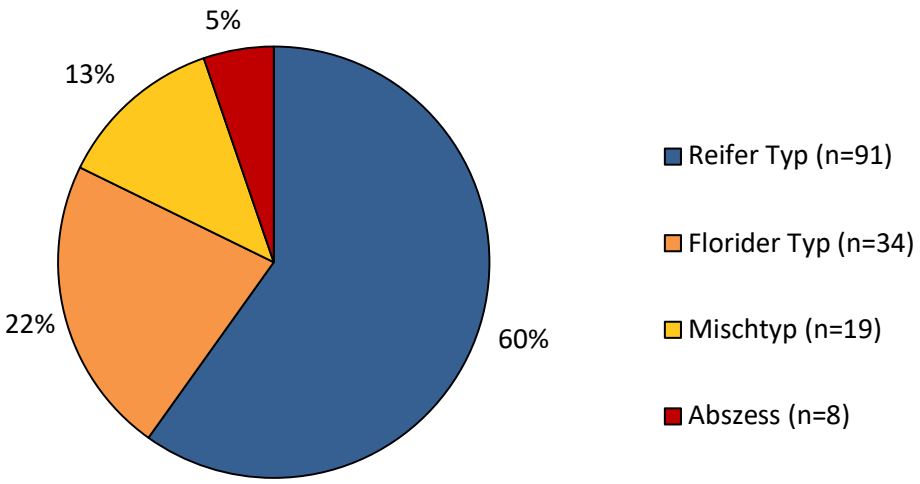


Abbildung 26: Prävalenzen von Entzündungstypen bei 152 akzessorischen Schleimbeuteln

4.5.3 Erscheinungsbild

Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft das histopathologische Erscheinungsbild von akzessorischen Schleimbeuteln der unterschiedlichen Entzündungstypen.

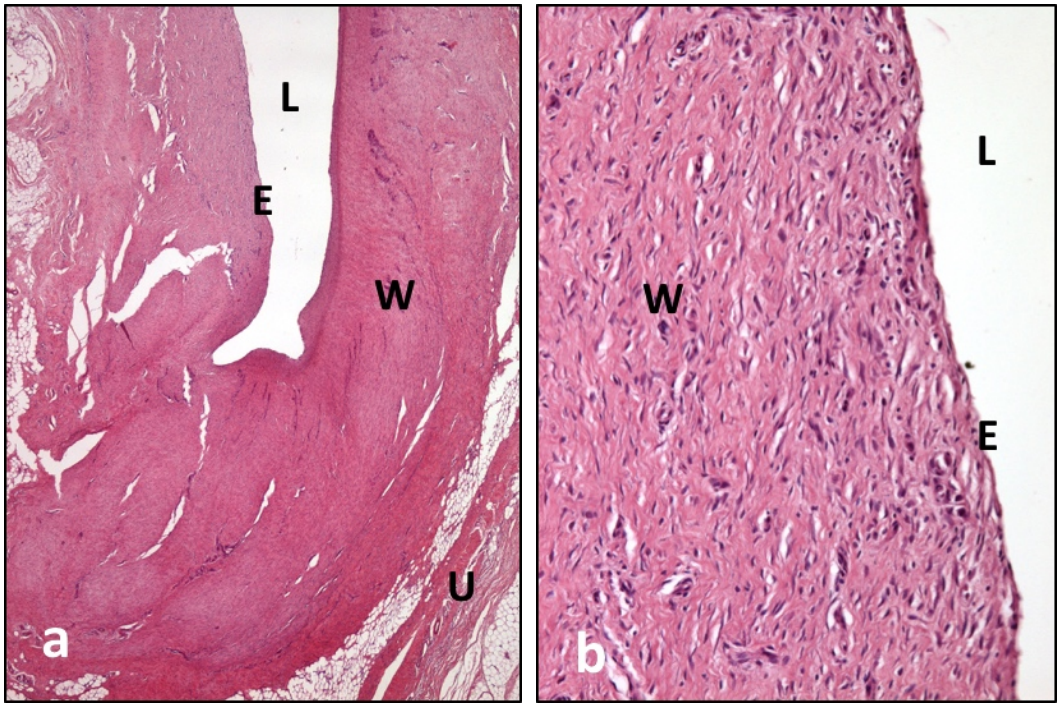


Abbildung 27: Bursa vom reifen Typ (Schwein Nr. 85, Phase I)

a) Histologisches Präparat in 20-facher Vergrößerung (HE-Färbung)
b) Histologisches Präparat in 200-facher Vergrößerung (HE-Färbung)
E: Epithel, L: Lumen, U: Unterhautfett, W: Bursawand

Abbildung 27 zeigt eine akzessorische Bursa vom reifen Typ. Sie weist eine glatte innere Oberfläche auf, die aus flachen Epithelzellen besteht (E). Fibrin oder Entzündungszellen sind weder im Lumen (L) noch in den Wandschichten (W) vorhanden. In der rechten unteren Bildecke sieht man zudem Unterhautfett (U). Die Bursenwand, die in Abbildung 27b vergrößert dargestellt ist, besteht zum Teil aus fibrösem Gewebe und zum Teil aus Granulationsgewebe mit einigen Gefäßanschnitten. Es sind Fibroblasten und Fibrozyten zu erkennen.

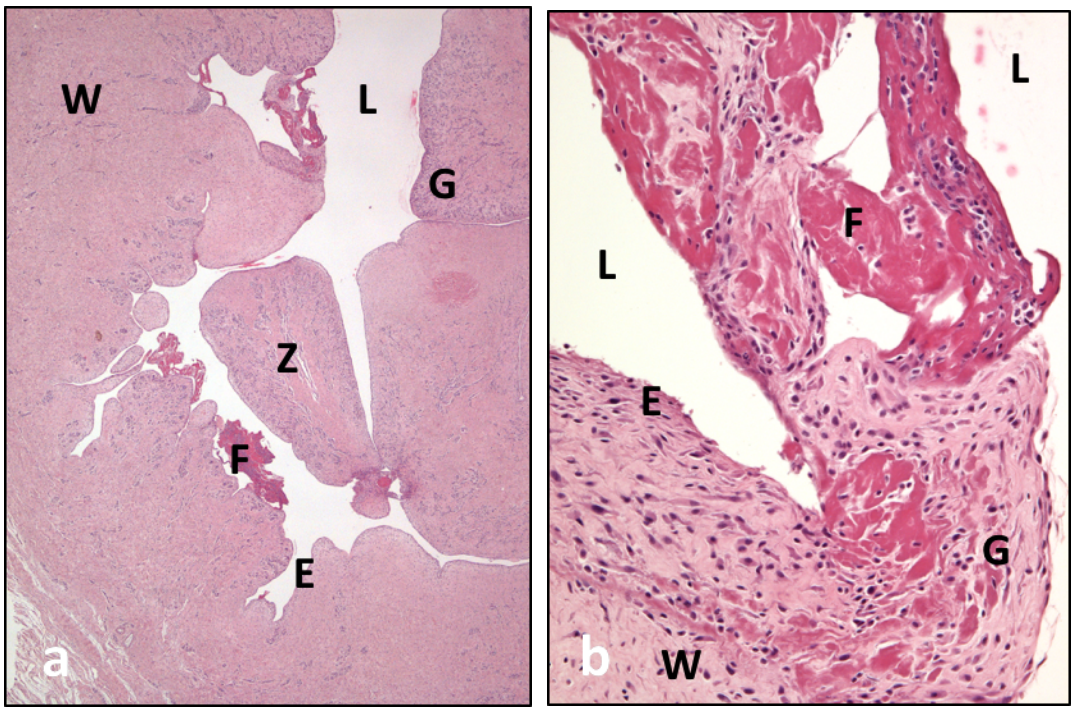


Abbildung 28: Bursa vom floriden Typ (Schwein Nr. 91, Phase I)

a) Histologisches Präparat in 20-facher Vergrößerung (HE-Färbung)
b) Histologisches Präparat in 200-facher Vergrößerung (HE-Färbung)
E: Epithel, F: Fibrin, G: Granulationsgewebe, L: Lumen, W: Bursawand, Z: Zotte

Bei Abbildung 28 handelt es sich um die Aufnahme einer Bursa vom floriden Typ. Hier sind mehr unterschiedliche Strukturen zu sehen. Im Gegensatz zur vorherigen Bursa sind in Abbildung 28a Zotten (Z) erkennbar und im Lumen (L) befinden sich Fibrinergüsse (F), in die teilweise Entzündungszellen eingelagert sind. Auch am Epithel (E) haftet an mehreren Lokalisationen Fibrin. Die Wandschichten, in Abbildung 28b gut erkennbar, bestehen zu großen Teilen aus Granulationsgewebe (G) mit vielen Fibroblasten, Fibrozyten und zahlreichen Gefäßanschnitten. An einigen Stellen sind Entzündungszellen in die inneren Wandschichten eingelagert. In den peripheren Anteilen der Bursawand ist fibröses Bindegewebe zu erkennen.

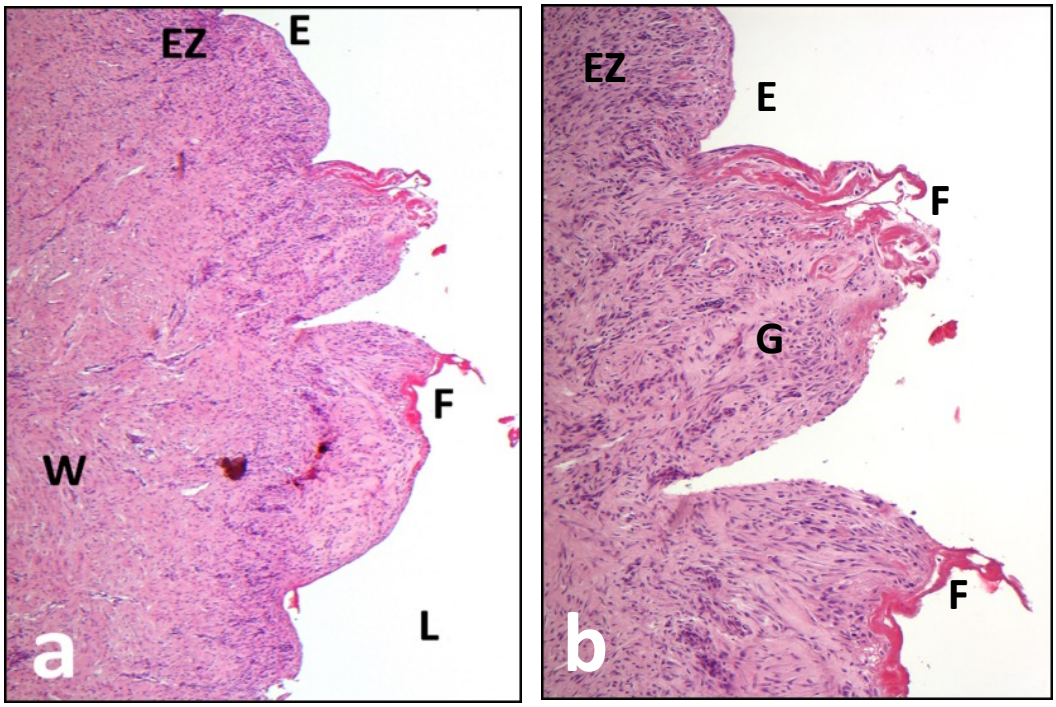


Abbildung 29: Bursa vom Mischtyp (Schwein Nr. 92, Phase I)

a) Histologisches Präparat in 20-facher Vergrößerung (HE-Färbung)
b) Histologisches Präparat in 100-facher Vergrößerung (HE-Färbung)
E: Epithel, EZ: Entzündungszellen, F: Fibrin, G: Granulationsgewebe, L: Lumen, W: Bursawand

Abbildung 29 zeigt das histologische Erscheinungsbild einer akzessorischen Bursa, die dem Mischtyp zugeordnet wurde. Im Lumen (L) befinden sich geringe Mengen Fibrin. Zudem haftet auch am Epithel (E) stellenweise Fibrin an. Insgesamt liegt die Fibrinmenge allerdings deutlich unter der bei floriden Hilfsschleimbeuteln beobachteten Menge. Die Wandschichten (W) bestehen zu großen Teilen aus fibrösem Bindegewebe. Allerdings kommt auch Granulationsgewebe, in welches Fibroblasten und Fibrozyten eingelagert sind, vor. Entzündungszellen sind nur vereinzelt zu beobachten.

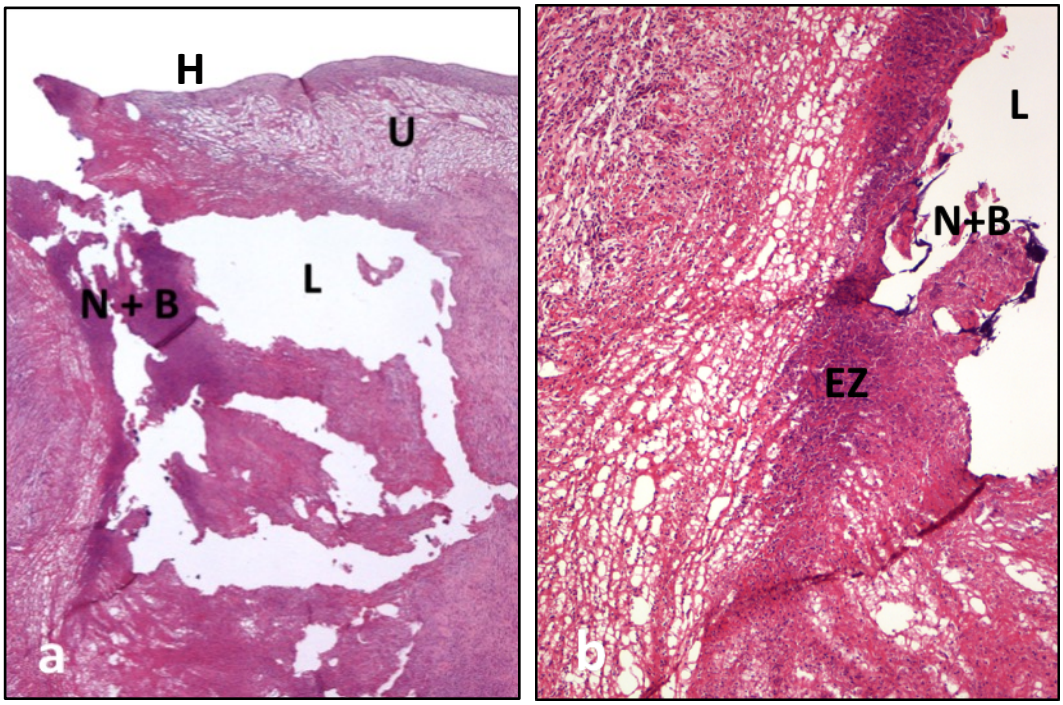


Abbildung 30: Bursa vom Abszesstyp (Schwein Nr. 167, Phase I)

a) Histologisches Präparat in 20-facher Vergrößerung (HE-Färbung)
b) Histologisches Präparat in 100-facher Vergrößerung (HE-Färbung)
EZ: Entzündungszellen, H: Haut, L: Lumen, N: Nekrotisches, degeneriertes Material, B: Bakterien, U: Unterhautfett

In Abbildung 30 ist das histologische Erscheinungsbild einer akzessorischen Bursa vom Abszesstyp erkennbar. Im Lumen (L) liegen große Mengen von nekrotischem, degeneriertem Material (N), das sich aus zersetzten Entzündungszellen, Bakterien (B) und Fibrin zusammensetzt. An weiten Teilen der Lumenwand kleidet dieses Material das Lumen saumartig aus. In den inneren Wandschichten befinden sich Entzündungszellen und Fibrin. Die äußeren Wandschichten bestehen aus fibrösem Bindegewebe, das nach innen hin zellreicher wird. Am oberen Bildrand in Abbildung 30a sind Unterhautfettgewebe (U) und die Haut (H) zu erkennen.

4.5.4 Entzündungstyp versus Bursagrad

Der Anteil an Bursen vom reifen Entzündungstyp war bei Schleimbeuteln mit hohem Bursagrad kleiner als bei Schleimbeuteln mit niedrigerem Bursagrad (Abbildung 31). Der floride Entzündungscharakter trat dagegen bei den Grad 2 und Grad 3 Bursen häufiger auf als bei den Grad 1 Bursen. Der Mischtyp kam bei Hilfsschleimbeuteln mit Grad 1 und 2 ähnlich häufig vor; bei Grad 3 Bursen trat er nicht auf. Der Abszesstyp lag bei der Hälfte der akzessorischen Bursen mit ulzerierter Haut (Grad 3) vor und war damit deutlich häufiger vertreten, als dies bei den Bursagraden 1 oder 2 der Fall war.

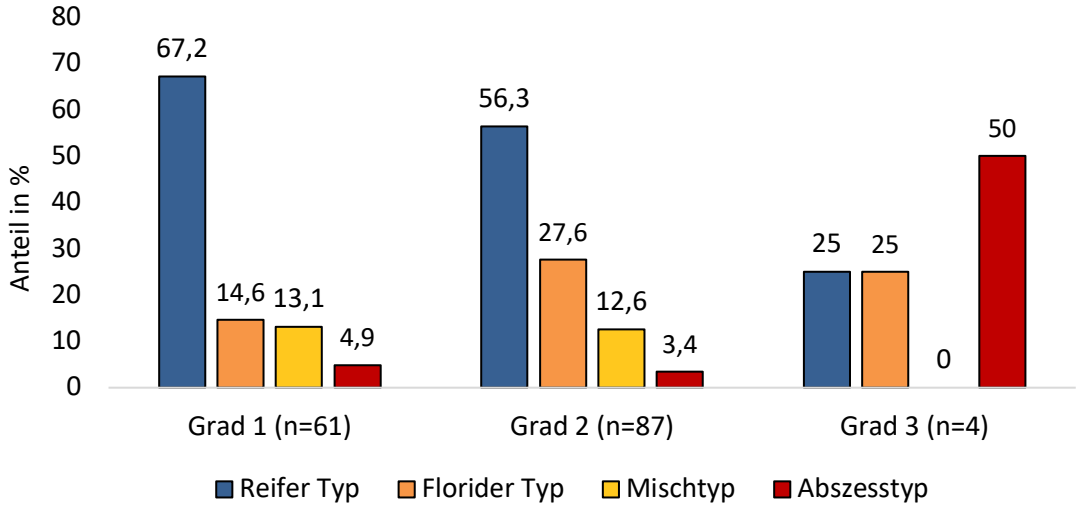


Abbildung 31: Prävalenzen von Entzündungstypen und Bursagrade

Statistisch betrachtet gab es mit einem Effektmaß Cramer`s V von 0,260 und einem Signifikanzwert p=0,002 einen schwachen, aber signifikanten Zusammenhang zwischen dem erhobenen Grad eines Hilfsschleimbeutels und dessen Entzündungscharakter (statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat).

4.5.5 Entzündungstyp versus Mikrobiologie

Für die Auswertung konnten 134 akzessorische Bursen, zu denen sowohl histopathologische als auch mikrobiologische Ergebnisse vorlagen, herangezogen werden. Dabei handelte es sich um 51 Bursen vom Grad 1, 79 vom Grad 2 und vier vom Grad 3.

Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Entzündungstypen (Tabelle 46) lagen hinsichtlich der Gesamtanzahl der nachweisbaren Bakterien, der Anzahl der nachgewiesenen Spezies, dem Auftreten fakultativ anaerober, anaerober und grampositiver Bakterien vor (statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat).

Tabelle 46: Entzündungstypen und mikrobiologische Untersuchungsparameter bei akzessorischen Schleimbeuteln (n=134)

Parameter Histopathologie	**Parameter Mikrobiologie**	**Signifikanzwert p***
Entzündungstyp	Gesamtanzahl nachweisbarer Bakterien	0,003
	Anzahl nachweisbarer Spezies	≤ 0,001
	Aerobier nachweisbar	0,226
	Fakultative Anaerobier nachweisbar	0,010
	Anaerobier nachweisbar	≤ 0,001
	Grampositive Bakterien nachweisbar	0,010
	Gramnegative Bakterien nachweisbar	0,067

n: Anzahl untersuchter Hilfsschleimbeutel, * getestet mit Pearson Chi-Quadrat, ≤: kleiner oder gleich

Bei akzessorischen Schleimbeuteln vom reifen Typ wurden in 68,8 % der Fälle keine Bakterien gefunden (Abbildung 32). In den restlichen reifen Schleimbeuteln fand sich meistens (21,3 %) eine geringe Bakterienanzahl.
Bei den akzessorischen Schleimbeuteln vom floriden Entzündungstyp wurden in 79,3 % der Schleimbeutel keine Bakterien gefunden. Der Anteil an Schleimbeuteln mit geringer und mittlerer Keimanzahl war im Vergleich zum reifen Entzündungstyp niedriger. Der Anteil an Schleimbeuteln mit einer hohen Bakterienanzahl war dagegen höher.
Bei den akzessorischen Bursen, die histopathologisch dem Mischtyp zugeordnet wurden, ließen sich in 72,2 % der Untersuchungen keine Bakterien anzüchten. Der Anteil an Schleimbeuteln mit geringer Keimanzahl lag bei 16,7 % und der mit mittlerer Keimanzahl bei 11,1 %. Bursen vom Mischtyp mit einer hohen Bakterienanzahl kamen nicht vor.
Bei den Schleimbeuteln des Abszesstyps war der Anteil an Bursen, bei denen keine Bakterien angezüchtet werden konnten, mit 14,3 % deutlich niedriger als bei allen anderen Entzündungstypen. Zudem wurden deutlich häufiger eine hohe Keimanzahl gefunden als es bei allen anderen Entzündungsformen der Fall war.

Wie bereits erwähnt waren diese Unterschiede in der Gesamtanzahl der Bakterien zwischen den unterschiedlichen Entzündungstypen signifikant. Diese Signifikanz kam durch die deutlich erhöhte Bakterienanzahl bei den Bursen vom Abszesstyp zustande (statistische Methode: Post Hoc Test nach Bonferroni) (Abbildung 32).

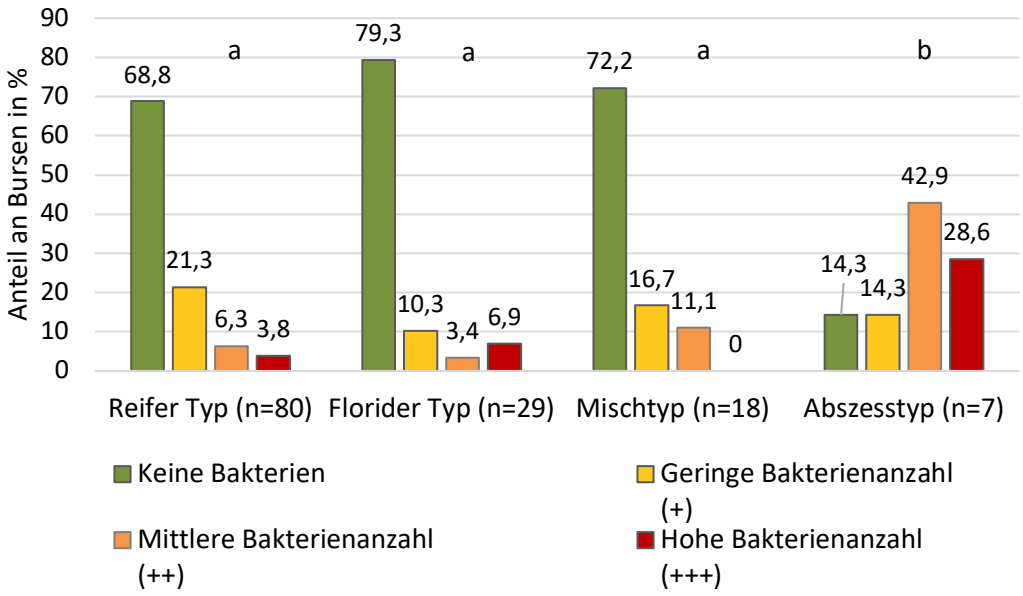


Abbildung 32: Gesamtanzahlen nachgewiesener Bakterien und Entzündungstypen

Sowohl in akzessorischen Schleimbeuteln vom reifen und floriden Typ als auch in solchen vom Mischtyp wurde im Mittel eine Bakterienspezies nachgewiesen. In Bursen vom Abszesstyp wurden dagegen im Schnitt vier verschiedene Bakterienspezies in einer Bursa gefunden (Tabelle 47). Demnach liegt auch hier die Signifikanz im Vergleich des Abszesstyps mit allen anderen Entzündungstypen begründet (statistische Methode: Post Hoc Test nach Bonferroni).

Tabelle 47: Entzündungstypen und Anzahl nachgewiesener Bakterienspezies bei akzessorischen Schleimbeuteln

Anzahl Bakterienspezies	Reifer Typ	Florider Typ	Mischtyp	Abszesstyp
n	80	29	18	7
Median	0,0	0,0	0,0	5,0
Mittelwert (Standardabweichung)	0,9 (1,7)	0,8 (2,3)	0,9 (1,8)	4,3 (2,6)

n: Anzahl untersuchter Hilfsschleimbeutel

Weitere signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Entzündungstypen lagen, wie oben bereits erwähnt, beim Vergleich der Prävalenzen von fakultativ anaerob wachsenden, rein anaerob wachsenden und grampositiven Bakterien vor. Sie waren ebenfalls auf den Vergleich des Abszesstyps mit allen anderen Entzündungstypen zurück zu führen (statistische Methode: Post Hoc Test nach Bonferroni). Die jeweils höchste Prävalenz innerhalb einer Bakteriengruppe wurde bei den Hilfsschleimbeuteln mit Abszesscharakter festgestellt (Tabelle 48).

Tabelle 48: Entzündungstypen und Prävalenzen verschiedener Bakteriengruppen bei akzessorischen Schleimbeuteln

Bakteriengruppe	Prävalenz			
	Reifer Typ (n=80)	**Florider Typ (n=29)**	**Mischtyp (n=18)**	**Abszesstyp (n=7)**
Aerobier	5,0 %	0,0 %	0,0 %	14,3 %
Fakultative Anaerobier	31,3 %	20,7 %	27,8 %	85,7 %
Anaerobier	0,0 %	0,0 %	0,0 %	28,6 %
Grampositive Bakterien	31,0 %	20,7 %	27,8 %	85,7 %
Gramnegative Bakterien	11,3 %	10,3 %	5,6 %	42,9 %

n: Anzahl untersuchter Hilfsschleimbeutel
Hinweis: Überschreitungen von 100 % in einer Spalte entstehen durch das gleichzeitige Auftreten der einzelnen Bakterienkategorien in derselben Bursa

4.5.6 Entzündungstyp versus Mykoplasmenprävalenz

Es konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Mykoplasmenprävalenz zwischen den einzelnen Entzündungstypen ermittelt werden (p=0,917; statistische Methode: Pearson Chi-Quadrat).
Die Gesamtprävalenz (mindestens eine Spezies nachweisbar) war bei Hilfsschleimbeuteln mit floridem Entzündungstyp am höchsten (82,2 %), gefolgt von Schleimbeuteln vom reifen Typ und vom Mischtyp (je 78,8 %). Die niedrigste Gesamtprävalenz wurde bei Bursen vom Abszesstyp festgestellt (71,4 %).
Die Schwankungen der Einzelprävalenzen der verschiedenen Mykoplasmenspezies zwischen den Entzündungstypen waren gering (Tabelle 49). Lediglich hinsichtlich Mhr und Mhs fielen beim Abszesstyp stärker abweichende Prävalenzwerte auf.

Tabelle 49: Entzündungstypen und Mykoplasmenprävalenzen bei akzessorischen Schleimbeuteln

Mykoplasmen	Prävalenz			
	Reifer Typ (n=80)	**Florider Typ (n=29)**	**Mischtyp (n=18)**	**Abszesstyp (n=7)**
Mhyo	77,5 %	79,3 %	77,8 %	71,4 %
Mhr	38,8 %	34,5 %	38,9 %	28,6 %
Mhs	7,5 %	10,3 %	11,1 %	28,6 %

n: Anzahl untersuchter Hilfsschleimbeutel; Mhyo: *Mycoplasma hyopneumoniae*, Mhr: *Mycoplasma hyorhinis*, Mhs: *Mycoplasma hyosynoviae*

4.6 Serologie

4.6.1 CRP-Konzentration

Die Serumkonzentration des C-reaktiven Proteins war in der zweiten Projektphase höher als in der ersten. (Tabelle 50). Hier bestand ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Phasen (p≤0,001; statistische Methode: t-Test).

Tabelle 50: Ergebnisse der CRP-Messung

CRP	Phase I	Phase II	Gesamt
n	176*	70*	246
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	69,4 (59,0)	192,0 (102,4)	104,3 (92,2)
Median in µg/ml	54,3	184,8	73,3

n: Anzahl untersuchter Schweine, * Bei 8 Schweinen aus Phase I und 20 Schweinen aus Phase II konnten keine CRP-Konzentrationen gemessen werden, da die Messwerte oberhalb des messbaren Bereiches lagen

4.6.2 CRP-Konzentration versus Bursagrad

Schweine mit akzessorischen Bursen wiesen im Mittel um 22,9 µg/ml höhere CRP-Serumkonzentrationen auf als Schweine ohne Hilfsschleimbeutel. Auch der Median lag um 35,1 µg/ml höher (Tabelle 51).

Tabelle 51: CRP-Serumkonzentrationen und Vorkommen akzessorischer Schleimbeutel

CRP	Bursagrad	
	0	**1-3**
n	23*	153*
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	99,7 (81,2)	122,6 (103,5)
Median in µg/ml	67,7	102,8

n: Anzahl untersuchter Schweine, * 200 Schweine wurden auf Bursen untersucht, bei 24 davon konnte kein CRP gemessen werden, da die Messwerte oberhalb des messbaren Bereiches lagen

Schweine, bei denen Grad 3 Bursen dokumentiert wurden, wiesen eine besonders hohe CRP-Konzentration auf (Tabelle 52). Im Mittel lag diese bei 239,9 µg/ml und damit deutlich höher als bei allen anderen Bursagraden. Tiere mit Grad 1 Bursen zeigten die zweithöchsten CRP-Gehalte. Bei Schweinen mit Hilfsschleimbeuteln vom Grad 2 wurde die niedrigste mittlere CRP-Konzentration gemessen.

Tabelle 52: CRP-Serumkonzentrationen und Ausprägungsgrade akzessorischer Schleimbeutel

CRP	Bursagrad			
	0	**1**	**2**	**3**
n	23	75	63	15
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	99,7 (81,2)	125,1 (115,7)	91,6 (70,6)	239,9 (66,0)
Median in µg/ml	67,7	105,2	63,7	250,0

n: Anzahl untersuchter Schweine, *200 Schweine wurden auf Bursen untersucht, bei 24 davon konnte kein CRP gemessen werden, da die Messwerte oberhalb des messbaren Bereiches lagen

Die gezeigten Unterschiede im CRP-Gehalt erwiesen sich als signifikant ($p \leq 0{,}001$; statistische Methode: Kruskal-Wallis-Test). Im Paarvergleich lagen die signifikanten Unterschiede zwischen Schweinen mit akzessorischen Schleimbeuteln vom Grad 3 und Schweinen mit allen anderen Bursagraden (in allen Fällen $p \leq 0{,}001$; statistische Methode: Post Hoc Test nach Bonferroni). Beim Vergleich von Schweinen mit Hilfsschleimbeuteln der Grade 0, 1 und 2 untereinander wurden keine signifikanten Unterschiede im CRP-Gehalt ermittelt (Abbildung 33).

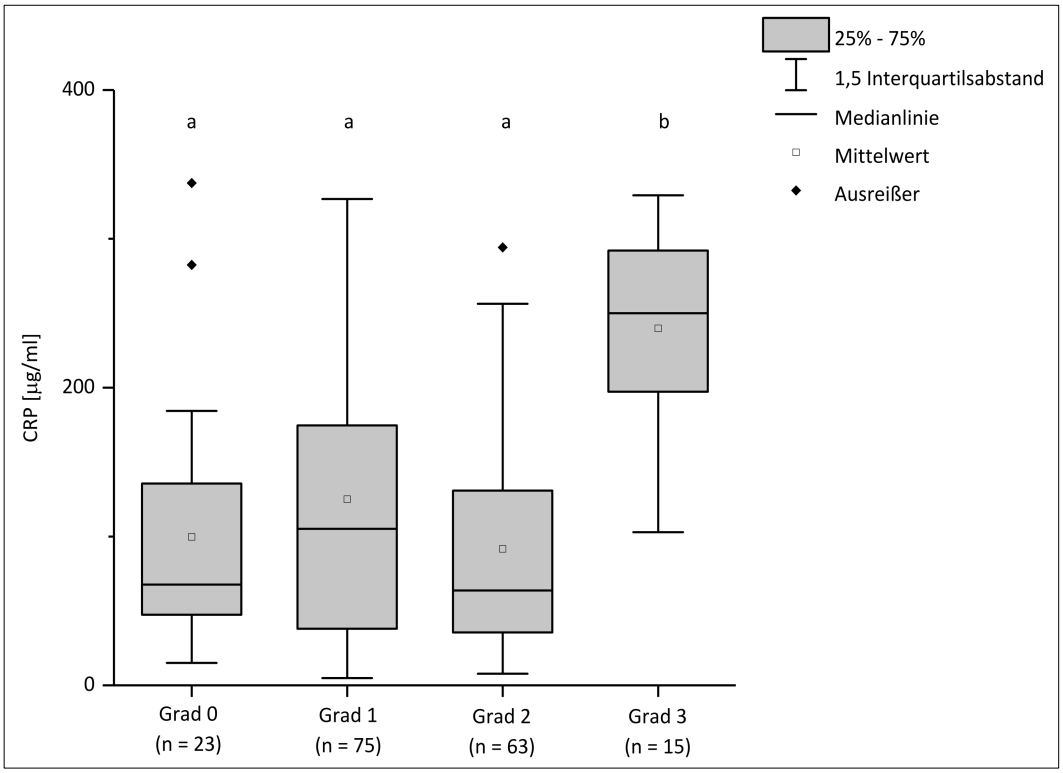


Abbildung 33: Ergebnisse der CRP-Messung und Ausprägungsgrade akzessorischer Schleimbeutel

4.6.3 CRP-Konzentration versus Mikrobiologie der Bursen

Die CRP-Serumkonzentrationen bei Schweinen, in deren Hilfsschleimbeuteln kulturell Bakterien nachgewiesen wurden, lagen nur geringfügig über denen von Schweinen ohne nachgewiesenes Bakterienwachstum (Tabelle 53).
Dieser Unterschied war nicht signifikant (p=0,604; statistische Methode: Mann-Whitney-Test).

Tabelle 53: CRP-Serumkonzentrationen und Keimwachstum in akzessorischen Schleimbeuteln

CRP	**Mikrobiologisches Ergebnis Bursa**	
	Kein Keimwachstum	**Keimwachstum nachweisbar**
n	56*	37*
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	70,3 (58,1)	83,2 (74,9)
Median in µg/ml	57,1	60,6

n: Anzahl untersuchter Schweine, *Bursen von 99 Schweinen wurden mikrobiologisch untersucht, bei sechs Tieren konnte kein CRP gemessen werden, da die Messwerte oberhalb des messbaren Bereiches lagen

Auch die CRP-Werte von Schweinen, deren Hilfsschleimbeutel sich in weiteren mikrobiologischen Parametern unterschieden, wichen nicht signifikant voneinander ab (statistische Methode: Spearman`s rho). Der mikrobiologische Status der akzessorischen Bursen hatte also keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den CRP-Spiegel der Schweine (Tabelle 54).

Tabelle 54: CRP-Serumkonzentration und mikrobiologische Parameter bei akzessorischen Schleimbeuteln

	Parameter Mikrobiologie der Bursen	**Signifikanzniveau p***
CRP-Konzentration	Anzahl nachweisbarer Bakterien	0,405
	Anzahl nachweisbarer Spezies	0,466
	Aerobier nachweisbar	0,101
	Fakultative Anaerobier nachweisbar	0,607
	Anaerobier nachweisbar	0,459
	Grampositive Bakterien nachweisbar	0,607
	Gramnegative Bakterien nachweisbar	0,341

* getestet mit Spearman´s rho

4.6.4 CRP-Konzentration versus Mykoplasmenprävalenz

Zwischen den CRP-Werten von Schweinen, in deren akzessorischen Schleimbeuteln DNA von *Mycoplasma hyopneumoniae*, *Mycoplasma hyorhinis* oder *Mycoplasma hyosynoviae* nachgewiesen wurde, und Schweinen, bei denen dies nicht der Fall war, wurde kein signifikanter Unterschied gefunden (Tabelle 55) (p = 0,816; statistische Methode: Mann-Whitney-Test).

Tabelle 55: CRP-Serumkonzentrationen und Vorkommen von Mykoplasmen in akzessorischen Schleimbeuteln

CRP	**Mykoplasmen in Bursen vorhanden**	
	ja	**nein**
n	101*	30*
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	76,6 (67,1)	73,3 (72,3)
Median in µg/ml	57,3	52,1

n: Anzahl untersuchter Bursen, *141 Schleimbeutel wurden molekularbiologisch untersucht, zehnmal konnte bei dem zugehörigen Schwein kein CRP gemessen werden, da die Messwerte oberhalb des messbaren Bereiches lagen

4.6.5 CRP-Konzentration versus Entzündungstyp

Die Unterschiede im CRP-Gehalt bei Schweinen mit Hilfsschleimbeuteln, die verschiedene Entzündungstypen zeigten, erwiesen sich ebenfalls als nicht signifikant (p=0,328; statistische Methode: Anova). Dennoch waren der Mittelwert und der Median der CRP-Konzentration bei Schweinen mit akzessorischen Bursen vom Abszesstyp am höchsten (Tabelle 56).

Tabelle 56: CRP-Serumkonzentrationen und Entzündungstypen bei akzessorischen Schleimbeuteln

CRP	**Reifer Typ**	**Florider Typ**	**Mischtyp**	**Abszesstyp**
n	87*	31*	18*	6*
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	75,4 (63,1)	67,2 (38,8)	87,6 (95,7)	117,4 (103,4)
Median in µg/ml	56,8	57,4	54,9	65,8

n: Anzahl untersuchter Bursen, *152 Schleimbeutel wurden histopathologisch untersucht, zehnmal konnte kein CRP beim dazugehörigen Schwein gemessen werden, da die Messwerte oberhalb des messbaren Bereichs lagen

4.6.6 CRP-Konzentration versus Lungenbefundkategorie

Signifikante Unterschiede in der CRP-Serumkonzentration von Schweinen mit unterschiedlichen Lungenbefundkategorien wurden nicht festgestellt (p=0,734; statistische Methode: Kruskal-Wallis-Test). Tiere mit der Lungenbefundkategorie 0 hatten aber tendenziell niedrigere CRP-Spiegel als Tiere mit mehr als 10 % pathologisch veränderter Lungenfläche (Befundkategorie 1-2) (Tabelle 57).

Tabelle 57: CRP-Serumkonzentrationen und Vorkommen pathologischer Lungenläsionen

CRP	**Lungenbefundkategorie**	
	0	**1-2**
n	16*	119*
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	66,1 (36,1)	70,9 (63,4)
Median in µg/ml	58,2	53,7

n: Anzahl untersuchter Schweine, *Bei 144 Schweinen wurden in Phase I die Lungen beurteilt, bei neun davon konnte kein CRP gemessen werden, da die Werte oberhalb des Messbereichs lagen. In Phase II war eine Zuordnung der Lungenbefunde zu den Blutproben nicht gegeben (hier keine Auswertung)

Zudem wurden bei Tieren mit der Lungenbefundkategorie 2 die höchsten CRP-Mittelwerte gemessen. Hier lag die Konzentration bei 74,0 µg/ml, während Schweine mit der Lungenbefundkategorie 1 im Mittel Serumspiegel von 65,5 µg/ml zeigten (Tabelle 58).

Tabelle 58: CRP-Serumkonzentrationen und Lungenbefundkategorien

CRP	**Lungenbefundkategorie**		
	0	**1**	**2**
n	16	43	76
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	66,1 (36,1)	65,5 (45,6)	74,0 (71,7)
Median in µg/ml	58,2	52,6	54,3

n: Anzahl untersuchter Schweine, *Bei 144 Schweinen wurden in Phase I die Lungen beurteilt, bei neun davon konnte kein CRP gemessen werden, da die Werte oberhalb des Messbereichs lagen. In Phase II war eine Zuordnung der Lungenbefunde zu den Blutproben nicht gegeben (hier keine Auswertung)

4.6.7 CRP-Konzentration versus Mikrobiologie der Lungen

Schweine, in deren Lungenproben kulturell Bakterienwachstum nachgewiesen wurde, hatten im Vergleich zu Schweinen ohne nachweisbares Keimwachstum im Mittel um 20,9 µg/ml höhere CRP-Konzentrationen im Serum (Tabelle 59). Dieser Unterschied erwies sich als statistisch signifikant (p=0,027; statistische Methode: Mann-Whitney-Test).

Tabelle 59: CRP-Serumkonzentrationen und Keimnachweis in den Lungen

	Keimnachweis in der Lungenprobe	
	nein	**ja**
n	49*	87*
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	57,2 (50,3)	78,1 (64,7)
Median in µg/ml	47,4	59,0

n: Anzahl untersuchter Lungenproben, *Die Lungen von 144 Schweinen wurden mikrobiologisch untersucht, bei acht davon war keine CRP-Messung möglich, da die Werte außerhalb des Messbereichs lagen

Daneben unterschieden sich auch die CRP-Werte von Schweinen abhängig von der erfassten Bakterienanzahl in ihren Lungen. Tiere mit einer mittleren Keimanzahl in ihrer Lunge hatten die höchsten gemessenen CRP-Werte. Schweine ohne nachgewiesene Bakterien die niedrigsten (siehe Tabelle 60). Diese Beobachtung war ebenfalls statistisch signifikant (p=0,049; statistische Methode: Spearman´s rho).

Tabelle 60: CRP-Serumkonzentrationen und Keimanzahl in der Lunge

CRP	**Keine Keime**	**Geringe Keimanzahl**	**Mittlere Keimanzahl**	**Hohe Keimanzahl**
n	49*	32*	25*	30*
Mittelwert in µg/ml (Standardabweichung)	57,2 (50,3)	78,5 (69,2)	90,6 (83,1)	67,4 (36,6)
Median in µg/ml	47,4	58,0	62,5	61,7

n: Anzahl untersuchter Lungen/Schweine, *Die Lungen von 144 Schweinen wurden mikrobiologisch untersucht, bei acht davon war keine CRP-Messung möglich, da die Werte außerhalb des Messbereichs lagen

Die CRP-Werte von Schweinen, deren mikrobiologische Lungenbefunde in anderen Parametern voneinander abwichen, zeigten keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 61) (statistische Methode: Spearman´s rho).

Tabelle 61: CRP-Werte und mikrobiologische Parameter der Lungenproben

	Parameter Mikrobiologie der Lunge	**Signifikanzwert p***
CRP-Konzentration	Anzahl nachweisbarer Spezies	0,125
	Aerobier nachweisbar	0,379
	Fakultative Anaerobier nachweisbar	0,450
	Anaerobier nachweisbar	-
	Grampositive Bakterien nachweisbar	0,103
	Gramnegative Bakterien nachweisbar	0,150

-: zu wenige Daten für statistische Auswertung (n=4), * getestet mit Spearman´s rho

5 Diskussion

In Deutschland werden jährlich circa 60 Millionen Mastschweine geschlachtet (Destatis, 2018b). Der Großteil davon wurde konventionell auf Spaltenböden gemästet (Destatis, 2010), obwohl dies bekanntermaßen zu gesundheitlichen Problemen führt. Schweine aus konventioneller Haltung zeigen häufiger akzessorische Schleimbeutel an den Gliedmaßen als andere Schweine (Gareis et al., 2016; Papsthard, 1989; Temple et al., 2012). Zudem sind am Schlachthof häufig pathologische Veränderungen der Lungen feststellbar (Pill, 2014; Wallgren et al., 1994).
In dieser Arbeit sollten sowohl die akzessorischen Schleimbeutel als auch die Lungenveränderungen näher untersucht und ihre Relevanz hinsichtlich des Tierwohls, der Schlachtkörper- und Fleischqualität sowie der Fleischhygiene beurteilt werden.

Prävalenz von akzessorischen Schleimbeuteln und pathologischen Lungenveränderungen am Schlachtband

In der vorliegenden Studie wurde die Prävalenz von akzessorischen Schleimbeuteln an den Gliedmaßen bei Mastschweinen mit Hilfe des von Gareis et al. (2016) entwickelten Bonitursschemas ermittelt.
Die Anwendung dieses Schemas stellte am Schlachtband keine Schwierigkeiten dar und ermöglichte eine einfache und einheitliche Erfassung des größten Schleimbeutels an den Gliedmaßen der Schlachtkörper. Eine Einschätzung des makroskopischen Bildes im Inneren der akzessorischen Bursen, eines möglichen Inhaltes oder einer mikrobiologischen Gefährdung für den Schlachtkörper war damit allerdings nicht möglich.
Dies zeigte sich auch in der makroskopischen Beurteilung der Bursen bei einer späteren Präparation. Dort fiel eine große Vielfalt des makroskopischen Erscheinungsbildes im Inneren der Hilfsschleimbeutel auf. Ein Rückschluss von der äußeren Betrachtung auf das Innere war nicht möglich. So zeigten beispielsweise auch Grad 1 Bursen starke Rötungen oder Einblutungen an der inneren Bursenwand. Da das makroskopische Erscheinungsbild aber kein primäres Ziel dieser Studie war, fand nicht bei jedem Hilfsschleimbeutel eine Präparation und Beurteilung statt. Hier wären weitere Untersuchungen zur Häufigkeit der verschiedenen makroskopischen Erscheinungsformen interessant.
Insgesamt traten bei 82,5 % der Tiere Hilfsschleimbeutel auf. Die höchste Prävalenz lag bei Schleimbeuteln vom Grad 2 mit 41,0 % vor, gefolgt von Schleimbeuteln der Grade 1 (32,5 %) und 3 (9,0 %). Diese Ergebnisse bestätigen die in vorherigen Studien von Gareis et al. (2016) oder Haberland et al. (2017) ebenfalls am Schlachthof ermittelten hohen Fallzahlen.

Gareis et al. (2016) erfassten mit dem gleichen Boniturschema bei 91,8 % der untersuchten Mastschweine aus konventioneller Haltung akzessorische Bursen. Am häufigsten wurde in deren Studie Grad 1 dokumentiert (47,7 %). Die Prävalenz von Grad 2 Bursen war ähnlich hoch (43,4 %) wie in der vorliegenden Arbeit. Grad 3 Bursen traten dagegen deutlich seltener, bei 0,7 % der Schweine, auf. Haberland et al. (2017) kamen zu einer Gesamtprävalenz von 82 %. Eine noch höhere Prävalenz ermittelte Papsthard (1989). Er stellte bei 96,3 % der untersuchten Schweine Hilfsschleimbeutel fest, allerdings umfasste seine Studie nur 27 Schweine aus konventioneller Haltung. Insgesamt decken sich die hier ermittelten Prävalenzen also mit den Ergebnissen vieler anderer Autoren (Mouttotou et al., 1998a; Mouttotou et al., 1998b; Penny und Hill, 1974; Smith, 1993).

Mayer (1999), Gillman et al. (2008) und Temple et al. (2012) beschrieben allerdings niedrigere Fallzahlen bei konventionell gehaltenen Schweinen. Mayer (1999) stellte nur bei 43 % der auf Vollspalten gehaltenen Schweine akzessorische Schleimbeutel fest, Gillman et al. (2008) bei 61,5 % und Temple et al. (2012) bei 56 %. Diese Divergenz könnte verschiedene Ursachen haben:

Zum einen haben Faktoren wie die Beschaffenheit des Stallbodens (Gillman et al., 2008), Alter und Gewicht der Tiere (Papsthard, 1989; Temple et al., 2012), die Genetik (Bäckström und Henricson, 1966; Penny und Hill, 1974; Smith und Morgan, 1994) oder sonstige Erkrankungen des Bewegungsapparates (Smith, 1993) Einfluss auf die Entstehung von Hilfsschleimbeuteln. Da die Tiere bei Mayer (1999), Gillman et al. (2008) und Temple et al. (2012) nicht am Schlachthof, sondern zu unterschiedlichen Zeitpunkten während der Mast untersucht wurden, unterschieden sie sich sowohl im Alter als auch im Gewicht voneinander. Über die Genetik ist nichts bekannt. Jedoch ist auch hier davon auszugehen, dass es sich um völlig unterschiedliche Herkünfte handelt. Ebenso wenig wurde der sonstige Gesundheitszustand der untersuchten Schweine erfasst.

Zum anderen spielt natürlich auch das angewendete Boniturschema eine Rolle. Werden die Schleimbeutel beispielsweise erst ab einer bestimmten Größe dokumentiert, führt dies im Ergebnis zu niedrigeren Prävalenzen. Zudem können kleine Bursen auch aufgrund von mangelnder Erfahrung des Untersuchenden übersehen werden. Vor allem an den Tarsal- und Ellenbogengelenken sind Hilfsschleimbeutel häufig schwerer zu erkennen, da die Gliedmaßen der Schweine im hängenden Zustand stark gestreckt sind und die Schleimbeutel damit weniger prominent hervortreten.

Der Untersuchungsvorgang und die Boniturschemata der oben aufgeführten Studien unterschieden sich deutlich von dem in dieser Studie angewendeten Vorgehen. Gillman et al. (2008) erfassten bei sich im Stall frei bewegenden Tieren Bursen in Abhängigkeit von der Größe im Verhältnis zum Carpal- oder Tarsalgelenk. Hilfsschleimbeutel wurden erst dann dokumentiert, wenn sie eine 25 prozentige Schwellung des Tarsalgelenkes aufwiesen. Temple et al. (2012)

untersuchten nur eine Tierseite aus einem Meter Entfernung auf Hilfsschleimbeutel. Diese mussten eine Mindestgröße von 1,5 cm haben, um erfasst zu werden.
Teilweise wurden in den bisherigen Studien auch nur bestimmte Lokalisationen untersucht und andere Lokalisationen, wie Schleimbeutel am Ellbogen, aus der Beurteilung herausgenommen.
Aus diesen Gründen schwanken die Prävalenzen von akzessorischen Schleimbeuteln in den bislang vorliegenden Studien vermutlich. Sehr niedrige Prävalenzen zwischen 0 % und 24,5 % wurden nur bei Schweinen beobachtet, die auf weicherem Untergrund wie Stroh, Kunststoffmatten oder im Freiland gehalten wurden (Gareis et al., 2016; Gillman et al., 2008; Mayer, 1999; Probst, 1989; Savary et al., 2007; Temple et al., 2012).

Neben den Gliedmaßen wurden in dieser Studie zusätzlich Schweinelungen am Schlachtband auf pathologische Veränderungen nach dem Befundschlüssel aus Anlage 3 der AVV Lebensmittelhygiene untersucht.
Auch dieser Befundschlüssel war einfach in der Anwendung und ermöglichte eine einheitliche und objektive Beurteilung der Lungen am Schlachtband. Er lässt zwar ebenfalls keine Aussagen über das makroskopische Erscheinungsbild der Lungenoberfläche hinaus zu, jedoch besteht laut Hurnik et al. (1993) eine direkte Übereinstimmung zwischen dem schnell am Schlachtband zu erfassenden makroskopischen Erscheinungsbild und einer späteren genauen Beurteilung der einzelnen Lungen.
Bei 82,5 % der insgesamt 234 untersuchten Schweine waren mehr als 10 % der Lungenfläche pathologisch verändert (Befundkategorien 1 und 2). Nur bei 17,5 % war die Lunge unauffällig oder in Bereichen von weniger als 10 % auffällig (Befundkategorie 0). Die meisten Lungen (53,0 %) wurden mit der höchsten Befundkategorie beurteilt; bei ihnen war mehr als 30 % der Lungenfläche pathologisch verändert. Die Prävalenz von pathologischen Lungenveränderungen war in Phase I mit 88,9 % signifikant höher als in Phase II mit 72,2 %. Gründe hierfür könnten beispielsweise ein höherer Keimdruck bei den Tieren der ersten Projektphase oder ein sich unterscheidendes Stallklima sein. Beides kann Auswirkungen auf die Lungengesundheit haben (Brockmeier et al., 2002) und kann anhand dieser Studie nicht beurteilt werden, obwohl beim Studiendesign auf eine möglichst identische Tierhaltung und eine einheitliche Tierauswahl geachtet wurde.
Wie in Tabelle 9 erkennbar, variieren die in der Literatur zu findenden Prävalenzen von pathologisch veränderten Schweinelungen am Schlachthof erheblich. Die niedrigste Befundrate ermittelte Rieper (2013) bei 649.923 Schweinen an einem norddeutschen Schlachthof. Sie verwendete denselben Befundschlüssel, der in dieser Arbeit zur Anwendung kam, verzichtete aber auf eine Unterscheidung

zwischen Befundkategorie 1 und 2. Laut ihrer Ergebnisse lagen bei 2,7 % der Tiere gering- oder mittelgradige Lungenveränderungen vor. In der Studie von Vogt (1996) traten bei 42,7 % der 19.417 an vier westfälischen Schlachthöfen untersuchten Schweinelungen Veränderungen auf. Hier wurde jedoch ein anderer Befundschlüssel nach Blaha und Neubrand (1994) verwendet. Ein ähnliches Ergebnis lieferte die Arbeit von Bostelmann (2000), die 584.778 Schlachtkörper von Schweinen an einem niedersächsischen Schlachthof umfasste und bei insgesamt 50,4 % der Tiere veränderte Lungen ergab. In 5,3 % der Fälle lag eine hochgradige Pneumonie vor.

Nur sehr wenige Autoren kamen zu ähnlich hohen Befundraten wie die vorliegende Arbeit. Hierzu zählt die Studie von Wallgren et al. (1994), bei der 4.508 Schweinelungen an einem schwedischen Schlachthof makroskopisch und mikroskopisch untersucht wurden. Bei 4.210 (93 %) dieser Lungen lagen Läsionen vor, wobei 83 % der untersuchten Lungen diese Veränderungen aufgrund einer bereits abgelaufenen oder noch aktiven Pneumonie zeigten.

Köfer et al. (1993) ermittelte ebenfalls eine recht hohe Prävalenz. In seiner Arbeit, in der 1.158 Lungen von Schlachtschweinen in Österreich untersucht wurden, waren knapp 78 % pathologisch verändert. Eine weitere Studie, die wie diese Arbeit bei Mastschweinen an süddeutschen Schlachthöfen Lungenläsionen nach demselben Befundschlüssel beurteilte, erfasste bei 77 % der untersuchten Lungen pathologisch-anatomische Veränderungen. Anzeichen einer hochgradigen Pneumonie zeigten 30 % (Pill, 2014).

Im Gegensatz zu all diesen Untersuchungen bei konventionell gehaltenen Mastschweinen sind die Ergebnisse von Bremermann (2001) besonders auffallend. Diese Studie erhob unter anderem Lungenbefunde von im Freiland gehaltenen Schweinen am Schlachtband und dokumentierte bei 18,6 % der Lungen pathologische Befunde. Dies lässt den Schluss zu, dass die Lungengesundheit bei Mastschweinen aus konventioneller Haltung deutlich schlechter ist als bei Schweinen in Freilandhaltung.

Die unterschiedlichen Studienergebnisse haben wahrscheinlich verschiedene Ursachen. Neben Krankheitserregern können zahlreiche andere nichtinfektiöse Faktoren wie Aufstallungsbedingungen, Anzahl der Tiere pro Stalleinheit, Stallklima oder das Betriebsmanagement die Lungengesundheit beeinflussen, da Lungenerkrankungen häufig auf ein multifaktorielles Geschehen zurückzuführen sind (Brockmeier et al., 2002; Schuh, 2001). Allein die Herkunft von Schweinen aus unterschiedlichen Betrieben führt damit schnell zu unterschiedlichen Untersuchungsergebnissen am Schlachthof. Da die aufgeführten Studien alle in unterschiedlichen Regionen und auch zeitlich sehr versetzt stattgefunden haben, muss davon ausgegangen werden, dass es sich hinsichtlich der Herkunft und damit assoziierter Aspekte wie Haltungsbedingungen, Management und Gesundheitsstatus um völlig unterschiedliche Tiere handelte.

Daneben ist auch die Jahreszeit, in welcher die Untersuchung stattfand, ein wichtiges Kriterium. Saisonale Auswirkungen auf das Erscheinungsbild von Schlachtlungen bei Schweinen wurden bereits von mehreren Autoren beschrieben (Boehringer Ingelheim, 2013; Jensen und Blaha, 1997; Pill, 2014). Auch hier unterscheiden sich die aufgeführten Arbeiten. Bostelmann (2000) erhob im Zeitraum von Januar 1997 bis September 1998 Befunde. Die Untersuchungen von Rieper (2013) fanden von März 2009 bis Februar 2011 statt und die von Pill (2014) ersteckten sich über eine Zeitspanne von einem Jahr. In der vorliegenden Studie wurde dieser Einfluss allerdings durch einen relativ kleinen Untersuchungszeitraum (Juli bis Oktober) größtenteils ausgeschlossen.

Weiterhin spielt auch der angewendete Befundschlüssel eine erhebliche Rolle. Werden Läsionen erst ab einem bestimmten Schweregrad oder einer bestimmten Größe erfasst oder werden nur bestimmte Teile der Lunge beurteilt, kommt es leicht zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Prävalenz. In den beschriebenen Studien kam zum Teil derselbe Befundschlüssel zum Einsatz wie in der vorliegenden Arbeit (Pill, 2014; Rieper, 2013), teilweise wurden aber auch eigene oder modifizierte Schlüssel verwendet (Bostelmann, 2000; Vogt, 1996; Wallgren et al., 1994).

Auch die Qualifikation des Untersuchungspersonals wirkt sich auf das Ergebnis der Untersuchung aus. Gerade kleine oder sich bereits in Heilung befindliche Veränderungen des Lungengewebes können schnell übersehen werden. Mit zunehmender Erfahrung nimmt die Erkennungsrate von Veränderungen dagegen zu.

Weiterhin wird die Erkennung von kleineren und unauffälligen Veränderungen durch die an kommerziellen Schlachthöfen übliche hohe Schlachtbandgeschwindigkeit erheblich erschwert. Möglich wäre es hier auch, dass aufgrund des hohen Zeitdrucks Lungen zwar als genussuntauglich bewertet und verworfen, der Befund vom Untersuchungspersonal im laufenden Betrieb aber nicht richtig dokumentiert wird. Dies wäre vor allem dann denkbar, wenn die Schlachtlungen nicht für den menschlichen Verzehr gedacht sind, nicht verkauft werden sollen und dementsprechend sowieso verworfen werden.

Da in fast allen der oben aufgeführten Studien (Bostelmann, 2000; Pill, 2014; Rieper, 2013; Vogt, 1996; Wallgren et al., 1994) lediglich die Daten ausgewertet wurden, welche während der amtlichen Fleischuntersuchung von den amtlichen Fachassistenten und Tierärzten dokumentiert wurden, ist es schwer abzuschätzen, ob tatsächlich immer alle vorhandenen pathologischen Befunde vollständig erfasst wurden.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Befunde jeder einzelnen Lunge hingegen durch immer die gleiche Untersuchungsperson schriftlich dokumentiert. Hinzu kommt, dass die Bandgeschwindigkeit in Phase I deutlich langsamer war als dies

an anderen Schlachthöfen der Fall ist, was eine genauere Untersuchung ermöglichte.
Zudem stellten Wallgren et al. (1994) fest, dass häufig nur diejenigen pathologischen Veränderungen am Schlachthof registriert werden, die sich in einem akuten Krankheitsstadium befinden. In der Untersuchung von Wallgren et al. (1994) wurden beispielsweise nur 15 % der Veränderungen, die durch *Mycoplasma hyopneumoniae* verursacht wurden, durch das offizielle Untersuchungspersonal dokumentiert. Da viele Lungenerkrankungen, die während der Aufzucht oder Mast der Schweine auftreten, innerhalb einiger Wochen abheilen, ist am Schlachthof makroskopisch keine akute Entzündung mehr erkennbar (Christensen et al., 1999; De Vries, 2010; Kobisch et al., 1993). Die zurück gebliebenen Veränderungen des Lungengewebes werden dann nicht mehr registriert, was zu niedrigeren Befundraten führt.

Zwischen dem Auftreten von akzessorischen Schleimbeuteln und den erhobenen Lungenbefundkategorien bestand ein signifikanter Zusammenhang. So hatten Schweine ohne akzessorische Schleimbeutel seltener pathologische Lungenveränderungen (59,4 %), als Schweine mit akzessorischen Schleimbeuteln (88,7 %). Gleichzeitig waren bei hohen Befundkategorien der Lunge auch hohe Bursagrade festzustellen.
Dies lässt sich vermutlich durch ein schlechteres Allgemeinbefinden von Tieren mit Lungenerkrankungen erklären, welches indirekt Einfluss auf die Bildung von Hilfsschleimbeuteln hat. Pneumonien sind laut Richter et al. (2012) schmerzhaft und führen zu einem verschlechterten Allgemeinbefinden, was vermehrtes Liegen nach sich zieht (Escobar et al., 2007). Durch das häufigere Liegen auf dem harten Spaltenboden waren die Gliedmaßen der Tiere mehr Druck ausgesetzt als dies bei Schweinen ohne Lungenerkrankungen der Fall war. Dieser vermehrte Druck führt wahrscheinlich zur Entstehung von mehr und größeren Bursen und verursacht auf Dauer auch eine Ulzeration der Haut.
Auch ein umgekehrter Entstehungsprozess ist denkbar. Möglicherweise liegen Tiere aufgrund schmerzender Hilfsschleimbeutel oder eines aus anderen Gründen schlechten Allgemeinbefindens mehr. Sie atmen dann verstärkt die aus den Spalten aufsteigende Luft mit Schadgasen wie Ammoniak ein und haben mehr direkten Kontakt zu dem auf dem Boden liegenden Kot. Dies könnte gemeinsam mit einer verringerten Durchblutung der Lunge aufgrund von Bewegungsmangel zu einer schlechteren Lungengesundheit führen.

Schlachtkörper- und Fleischqualität

Die Fleischqualität im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen kann insgesamt als gut beurteilt werden. Das Schlachtgewicht der hier untersuchten Schweine betrug durchschnittlich 97,2 kg. Dies liegt etwas über dem deutschen Durchschnitt, der sich zwischen 92 kg und 94 kg bewegt (Destatis, 2018a).
Die gemessene Mittelwert des Muskelfleischanteils befand sich mit 59,4 % laut Wähner (2013) in der Norm und entspricht der Handelsklasse E, welches die zweitbeste erreichbare Handelsklasse darstellt (Anonymous, 1986).
Bei den pH_{45}- und pH_{24}-Messungungen und der Erfassung der elektrischen Leitfähigkeit lagen ebenfalls alle Einzelwerte bis auf einen pH_{45}-Wert innerhalb des von Schmitten et al. (1989) angegebenen Normbereichs.
Zwischen beiden Projektphasen gab es kaum signifikante Unterschiede. In der ersten Projektphase wurde im Vergleich zur zweiten Projektphase ein etwas niedrigerer durchschnittlicher Muskelfleischanteil gemessen. Die Einflussgrößen Haltungsform und Genetik der Tiere können hierbei als Ursache ausgeschlossen werden, da die Projektphasen in dieser Hinsicht identisch gestaltet wurden. Denkbar wäre ein Einfluss der Fütterung oder möglicherweise ein Krankheitsgeschehen, welches nur in einer der beiden Tiergruppen vorkam. Beides kann Auswirkungen auf die Schlachtleistung und den Muskelfleischanteil haben (Blaha und Blaha, 1995; Doedt et al., 1996; Kulpys et al.; Šeškevičienė et al., 2003).
Zudem bestand ein signifikanter Unterschied in den pH_{45}-Werten der Phase I und II, der sich vermutlich durch die unterschiedlichen Betäubungsarten erklären lässt.

Ein Einfluss der Bursengrade auf den Muskelfleischanteil, den pH_{45}- sowie den pH_{24}-Wert und die elektrische Leitfähigkeit konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht ermittelt werden. Zwischen den Muskelfleischanteilen und den pH_{45}-Werten von Schweinen mit und ohne akzessorische Schleimbeutel und mit unterschiedlichen Bursagraden bestand kein signifikanter Unterschied. Damit wurden die Ergebnisse von Gareis et al. (2016) bestätigt, die ebenfalls keine Unterschiede feststellen konnten. Auch die Messungen von pH_{24} und elektrischer Leitfähigkeit von Schweinen mit und ohne Hilfsschleimbeuteln führten nicht zu signifikant verschiedenen Ergebnissen. Bisher gab es in der Literatur keine vergleichbaren Daten zum Zusammenhang von akzessorischen Schleimbeuteln und dem 24 Stunden post mortem gemessenen pH-Wert bzw. der elektrischen Leitfähigkeit. Ein Vergleich der Daten ist deshalb nicht möglich.
Bei der Erfassung der Schlachtgewichte von Schweinen mit unterschiedlichen Lungenbefundkategorien ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede. Dies bestätigt die Ergebnisse von Wittmann et al. (1995). Minkus (2003), HOY (1987) sowie Hammel und Blaha (1993) beschrieben dagegen einen Zusammenhang zwischen pathologischen Lungenbefunden und niedrigen

Schlachtgewichten. Die Autoren erklärten dies dadurch, dass nur gesunde Schweine hohe Mastleistungen erreichen können und Erkrankungen sich negativ auf die Futteraufnahme und die allgemeine körperliche Konstitution auswirken.
Ein Grund für die fehlenden Gewichtsunterschiede in der vorliegenden Studie könnte der Umstand sein, dass nicht alle Schweine zum selben Zeitpunkt geschlachtet wurden, sondern eine Selektion anhand des Lebendgewichtes stattfand. Dadurch hatten Tiere, welche aufgrund von schlechter Lungengesundheit leichter waren, noch Zeit den Gewichtsunterschied bis zur Schlachtung auszugleichen. Außerdem ist davon auszugehen, dass sich Erkrankungen der Lunge, welche sich erst kurz vor der Schlachtung entwickelten, nicht mehr auf das Schlachtgewicht auswirkten. Lungenerkrankungen, welche am Anfang der Mast auftraten, konnten dagegen bereits ausheilen und die verpasste Gewichtszunahme der Schweine bis zur Schlachtung konnte möglicherweise wieder aufgeholt werden.
Weiterhin wurde kein signifikanter Einfluss der Lungengesundheit auf die Ergebnisse der pH_{24}- und Leitfähigkeitsmessung in der vorliegenden Studie festgestellt. Schütte et al. (1996) und Minkus (2003) beschrieben dagegen einen Zusammenhang zwischen dem gehäuften Vorkommen von DFD-Fleisch („dark, firm, dry“) und hochgradigen Lungenveränderungen. Beide Studien sahen die Begründung für das Auftreten von DFD in einem Energiemangel und einer Überbeanspruchung vor der Schlachtung. Dies konnte hier nicht bestätigt werden. Allerding war die Messung des pH_{24}-Wertes aufgrund des zeitlichen und personellen Aufwandes und der Gegebenheiten an den Untersuchungsschlachthöfen auch nur bei 184 Schweinen möglich. Im Vergleich zu den 10.000 bzw. 11.950 untersuchten Schweinen in den anderen beiden Studien war die Datenmenge in dieser Arbeit möglicherweise zu gering, um statistisch relevante Unterschiede oder zumindest eine Tendenz feststellen zu können. Da es bisher keine Studien gab, die den Einfluss von Lungenveränderungen auf den pH-Wert 24 Stunden post mortem untersuchten, ist ein Vergleich der Ergebnisse hier nicht möglich.

Signifikante Unterschiede in der Schlachtkörper- bzw. Fleischqualität lagen hingegen bei der Gegenüberstellung der Schlachtgewichte von Schweinen mit unterschiedlichen Boniturbefunden der Bursen und bei den pH_{45}-Werten von Tieren mit verschiedenen Lungenbefundkategorien vor.
Schweine mit dem höchsten Bursagrad (Grad 3) hatten die niedrigsten Schlachtgewichte. Durch die Tatsache, dass die Tiere nach Lebendgewicht sortiert geschlachtet wurden und Schweine mit geringeren täglichen Zunahmen etwas länger gemästet wurden als Schweine mit höheren täglichen Zunahmen, wurde der Gewichtsunterschied sogar noch abgemildert. Dennoch hatten Schweine mit

Grad 3 Bursen im Vergleich zu Schweinen mit allen anderen Bursagraden absolut gesehen ein signifikant niedrigeres Schlachtgewicht.
Ein solcher Zusammenhang konnte in bisherigen Studien nicht gezeigt werden. Zwar nahm auch bei den Untersuchungen von Gareis et al. (2016) das Schlachtgewicht mit steigendem Bursagrad tendenziell ab, der Unterschied zwischen den Tieren erwies sich aber nicht als signifikant. Mouttotou et al. (1998b) stellten ebenfalls keine Unterschiede im Schlachtgewicht in Abhängigkeit vom Auftreten von akzessorischen Schleimbeuteln fest.
Eine Ursache für die in dieser Arbeit festgestellten Schlachtgewichtsunterschiede könnte ein schlechtes Allgemeinbefinden bzw. eine Grunderkrankung, wie beispielsweise eine Pneumonie, sein. Kranke Schweine liegen häufiger, wodurch zum einen ulzerierte Hilfsschleimbeutel entstanden sind und zum anderen weniger Futter aufgenommen wurde. Eine geringere Futteraufnahme führt schließlich zu einem niedrigeren Schlachtgewicht. Eine andere Möglichkeit ist, dass die ulzerierten Schleimbeutel selbst Schmerzen und Unwohlsein im Allgemeinen oder speziell bei Bewegung auslösten, was wiederum die Futteraufnahme verringerte und sich in einem niedrigen Schlachtgewicht äußerte. Gestützt werden diese Theorien durch verschiedene Autoren. Escobar et al. (2007) beobachteten bei lungenkranken Schweinen längere Liegezeiten als bei gesunden. Zudem wird Futterverweigerung beim Schwein häufig als Symptom bei Krankheit oder Schmerz beschrieben (Reiner, 2015; Schmitten et al., 1989; Zimmerman und Karriker, 2012).

Schweine mit pathologisch veränderten Lungen hatten signifikant niedrigere pH45-Werte als Schweine mit unauffälligen Lungenbefunden.
Auch andere Autoren konnten bereits einen solchen Zusammenhang feststellen. Hammel und Blaha (1993) wiesen bei Schweinen ohne pathologische Lungenbefunde häufiger eine gute Fleischqualität anhand eines pH-Wertes über 5,8 nach als bei Schweinen mit mittel- oder hochgradigen Lungenveränderungen. Die Autoren begründeten dies mit der erhöhten Belastung vor der Schlachtung, der die Schweine aufgrund der Lungenerkrankung ausgesetzt waren und die sich negativ auf den Stoffwechsel, die körperliche Konstitution und damit auch auf die Fleischqualität auswirkte.
Auch im vorliegenden Fall könnte eine schlechte körperliche Verfassung, ein verminderter Gasaustausch und ein reduziertes Allgemeinbefinden durch das geschädigte Lungengewebe in Verbindung mit den ungewohnten Bedingungen während des Transports und am Schlachthof zu vermehrtem Stress bei Tieren mit pathologischen Lungenveränderungen geführt haben. Dass vermehrter Stress zu einer beschleunigten Glykolyse und damit zu niedrigeren pH-Werten bis hin zu PSE-Fleisch führen kann, ist bekannt (Lengerken et al., 2007; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2002).

Mikrobiologie

In 78 % der untersuchten Schleimbeutel wurde mittels PCR DNA von Mykoplasmen nachgewiesen. Die höchste Prävalenz hatte *Mycoplasma hyopneumoniae* mit 76,6 %, die niedrigste *Mycoplasma hyosynoviae* mit 10,6 %. DNA von *Mycoplasma hyorhinis* wurde in 36,9 % der Schleimbeutel gefunden.

Penny und Muirhead (1986) erwähnten das Vorkommen von *Mycoplasma hyosynoviae* ebenfalls und Nielsen (1988) wies *Mycoplasma hyorhinis* im Inhalt von akzessorischen Schleimbeuteln beim Schwein nach. Allerdings gibt es keine Studien zur Bedeutung und Prävalenz von Mykoplasmen in Hilfsschleimbeuteln.

Mycoplasma hyopneumoniae, der Erreger der Enzootischen Pneumonie, kommt normalerweise nur im Respirationstrakt vor, eine pathogene Bedeutung in anderen Organen, in den Gelenken oder Schleimbeuteln ist nicht bekannt (Desrosier, 2001; Palzer et al., 2005; Selbitz, 2011).

Mycoplasma hyorhinis gilt dagegen als primärer und sekundärer Erreger von Pneumonien und ist gleichzeitig Auslöser von Polyserositis und Gelenksentzündungen (Kinne et al., 1991; Selbitz, 2011; Weiss und Rudolph, 2007b). Eine Beteiligung an Bursitiden ist zwar nicht dokumentiert, wäre aber zumindest denkbar, da der Erreger bei infizierten Tieren nachweislich über die Blutbahn im ganzen Körper verbreitet wird (Selbitz, 2011).

Ähnlich verhält es sich mit *Mycoplasma hyosynoviae*. Auch dieser Erreger, dessen Reservoir die Tonsillen sind, streut über die Blutbahn und verursacht eine Polyarthritis (Blowey, 1993; Ross und Duncan, 1970). Demnach könnte auch er von pathogener Bedeutung bei den Hilfsschleimbeuteln sein.

Da die für den Mykoplasmennachweis verwendete PCR eine rein qualitative Untersuchung darstellte, kann keine Aussage über die Anzahl der in den Schleimbeuteln gefundenen Mykoplasmen gemacht werden. Ebenso wenig ist klar, ob es sich bei den positiven PCR-Befunden um tote oder lebende Bakterien handelte, die nachgewiesen wurden, und ob diese für die Ätiologie der Hilfsschleimbeutel von Bedeutung sind.

Bei der kulturellen Untersuchung von 141 akzessorischen Bursen wurden in 31,9 % der Bursen kulturell Bakterien nachgewiesen. Dabei handelte es sich vorwiegend um Streptokokken und Staphylokokken. Insgesamt wurden 22 verschiedene Bakteriengattungen identifiziert (s. Kapitel 4.2.1.).

Welche Bedeutung die nachgewiesenen Bakterien für die Ätiologie der Hilfsschleimbeutel haben, ist weitgehend unklar. Hierzu gibt es bisher keine Studien und es konnte auch in der vorliegenden Arbeit nicht geklärt werden, da lediglich zum Zeitpunkt der Schlachtung mikrobiologische Untersuchungen stattfanden. Hierfür wären weitere Untersuchungen zum Entstehungszeitpunkt der Hilfsschleimbeutel nötig. Eine Beteiligung an der Entstehung oder am

Entzündungsgeschehen der akzessorischen Schleimbeutel wäre bei einigen der nachgewiesenen Bakterien jedoch durchaus denkbar:
Staphylokokken und Streptokokken sind als Erreger von lokalen und systemischen eitrigen Entzündungen wichtige Infektionserreger bei Tier und Mensch (Valentin-Weigand, 2011). Demnach ist eine Relevanz der Erreger für das Entzündungsgeschehen innerhalb der akzessorischen Schleimbeutel vorstellbar. Speziell *Streptococcus suis* wird beim Schwein im Zusammenhang mit Gelenksentzündungen beschrieben und könnte aufgrund der Nähe der Hilfsschleimbeutel zu den Gelenken von Bedeutung sein. *Streptococcus dysgalactiae* wird in der Literatur ebenfalls als Auslöser von Arthritiden und Abszessen beim Schwein aufgeführt (Valentin-Weigand, 2011).
Auch *Haemophilus parasuis* ist ein bekannter Erreger von Arthritiden beim Schwein und könnte bei der Entstehung einer Bursitis beteiligt sein (Ewers und Wieler, 2011). Weiterhin zählt *Escherichia coli* zum Erregerspektrum von Wundinfektionen (Harbarth, 2006) und wurde auch als auslösendes Agens von Arthritiden im Zuge einer Septikämie beschrieben (Lee und Coleman, 2013). Demnach kann auch hier eine Beteiligung an der Pathogenese der akzessorischen Schleimbeutel nicht ausgeschlossen werden.
Die Ergebnisse dieser Arbeit unterscheiden sich deutlich von den mikrobiologischen Befunden bei einigen anderen Autoren. Gareis et al. (2016) stellten nur bei einem sehr viel kleineren Prozentsatz (1,2 %) der akzessorischen Bursen von konventionell gehaltenen Schweinen Bakterienwachstum fest. Dabei handelte es sich um *Staphylococcus aureus und Dermacoccus* spp. Auch Glawischnig (1965) konnte nur in einem von sieben untersuchten Schleimbeuteln hämophile Bakterien nachweisen.
Diese unterschiedlichen Ergebnisse könnten in der verwendeten Methodik begründet liegen. In der Studie von Gareis et al. (2016) wurde den Bursen ein erbsengroßes Stück Gewebe entnommen und mit weiteren Proben gepoolt. Diese Proben wurden anschließend in einer Verdünnungsflüssigkeit eine Stunde bei Raumtemperatur inkubiert und anschließend wurde die Flüssigkeit auf Plate-Count-Agar ausgestrichen und für 48 Stunden bei 37 °C unter aeroben Bedingungen bebrütet. Die Differenzierung der gewachsenen Kolonien erfolgte nach einer Subkultivierung biochemisch mittels Staphylokokken-API.
In der vorliegenden Arbeit wurden die akzessorischen Bursen hingegen einzeln untersucht, der Burseninhalt mittels Tupferprobe direkt auf Schafsblut-, Schaedler- sowie Schokoladenagar ausgestrichen und die Nährböden anschließend unter aeroben, anaeroben bzw. mikroaerophilen Bedingungen inkubiert. Dadurch fand keine Verdünnung eventuell vorhandener Keime aus den Bursen statt, sodass Bakterien, die nur in geringer Zahl vorhanden waren, kulturell nachgewiesen werden konnten. Weiterhin wurde durch die verschiedenen Nährmedien und die unterschiedlichen Anzuchtbedingungen einem größeren

Bakterienspektrum das Wachstum und damit auch der kulturelle Nachweis ermöglicht. Schließlich fand die Identifizierung der gewachsenen Bakterienkolonien mittels MALDI-TOF MS statt, welche eine genaue Zuordnung des Bakteriums bis auf Speziesebene gestattete.
Ähnliche Ergebnisse wie die hier vorliegende Arbeit lieferte hingegen die Studie von Marchant (1980), bei der in 34 % der Bursaproben ebenfalls vorrangig Streptokokken und Staphylokokken nachgewiesen wurden.

Der Bursengrad hatte in der vorliegenden Studie keinen signifikanten Einfluss auf die Nachweishäufigkeit von Bakterien. Hierfür war der Stichprobenumfang wahrscheinlich zu gering. Eine Untersuchung einer größeren Anzahl von Hilfsschleimbeuteln, vor allem vom Grad 3, wäre an dieser Stelle sinnvoll, da in dieser Arbeit nur vier ulzerierte Bursen für eine mikrobiologische Untersuchung zur Verfügung standen.
Es fiel dennoch auf, dass bei hohen Bursagraden der Prozentsatz der Hilfsschleimbeutel mit kulturell nachweisbarem Bakterienwachstum größer war als bei niedrigen Bursagraden. Daneben waren auch die Gesamtanzahl der Bakterien und die Anzahl der identifizierten Bakterienspezies tendenziell höher.
Dies könnte daran liegen, dass mit steigender Schleimbeutelgröße die Häufigkeit eines Traumas und die Gefahr einer Verletzung der Haut zunimmt und damit eine mögliche Eintrittspforte für Bakterien geschaffen wird. Die eingedrungenen Bakterien können den Hilfsschleimbeutel dann infizieren, sich dort vermehren und Abszesse bilden. Diese Gefahr besteht besonders bei den Grad 3 Bursen, bei denen die Haut im Bereich des Ulkus bereits geschädigt ist.
Ob Bakterien auch auf anderem Wege, zum Beispiel durch eine systemische Verbreitung über das Blut oder aus benachbarten Gelenken, in die Schleimbeutel gelangen können, konnte in dieser Studie nicht beurteilt werden und wurde auch in anderen Studien bisher nicht untersucht. Die hohe bakterielle Kontamination der Grad 3 Bursen deutet aber eher auf einen Eintritt über die Haut hin. Um dies abschließend zu klären, sollte man in weiteren Untersuchungen beispielsweise noch Blut, tributäre Lymphknoten oder benachbarte Gelenke auf das Vorhandensein der in den Bursen gefundenen Bakterien untersuchen.
Ein Zusammenhang zwischen einzelnen Bakterienspezies, die theoretisch an der Entstehung der Hilfsschleimbeutel oder deren Entzündungsgeschehen beteiligt sein könnten, und dem Bursagrad konnte nicht festgestellt werden. *Streptococcus suis, Streptococcus dysgalactiae, Escherichia coli* und *Staphylococcus aureus* traten gleichmäßig verteilt bei allen Bursagraden auf. Eine statistische Auswertung auf Speziesebene war hier allerdings aufgrund der niedrigen Fallzahlen nicht möglich. Hierfür sind umfangreichere Probennahmen in einer weiteren Studie nötig.

Bei den 144 mittels PCR untersuchten Lungenproben wurde in je einer Lunge DNA von *Mycoplasma hyopneumoniae* und *Mycoplasma hyorhinis* nachgewiesen. Diese Prävalenz erscheint in Anbetracht der Tatsache, dass in Deutschland 81,2 % der Schweinmastbetriebe als seropositiv hinsichtlich *Mycoplasma hyopneumoniae* gelten (Horst et al., 1997), eher gering.
Wilms-Schulze Kump (2010) kam allerdings zu ähnlichen Ergebnissen. Sie untersuchte Schweine während der Mast und am Schlachthof mittels qPCR auf *Mycoplasma hyopneumoniae* und *Mycoplasma hyorhinis*. Die ermittelten Prävalenzen lagen für *Mycoplasma hyopneumoniae* am Mastanfang bei 0,7 % und kurz vor der Schlachtung bei 2,7 %. Die Prävalenz von *Mycoplasma hyorhinis* wurde zum Zeitpunkt der Schlachtung mit 0,5 % angegeben.

Bei der kulturellen Untersuchung der 144 Lungenproben war bei 65,3 % der Lungen Bakterienwachstum nachweisbar. Es wurden insgesamt 34 verschiedene Gattungen identifiziert (s. Kapitel 4.2.2.). Am häufigsten trat die Gattung *Streptococcus* auf.
Eine Aussage darüber, ob die nachgewiesenen Bakterien für Lungenschäden am Schlachthof verantwortlich waren, kann anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht getroffen werden. Hierfür müssten Schweinelungen über den gesamten Verlauf der Aufzucht und Mast kontinuierlich mikrobiologisch untersucht werden und die Ergebnisse in direkten Bezug zu klinischen und pathologisch-anatomischen Symptomen von Lungenerkrankungen gesetzt werden. Eine Beteiligung vieler der nachgewiesenen Keime an Lungenerkrankungen ist aber in der Literatur beschrieben:
Streptococcus suis gilt als fakultativ pathogen und kann neben Meningitis, Serositis und Arthritiden auch Pneumonien, vor allem bei Ferkeln, auslösen (Valentin-Weigand, 2011). Auch Palzer (2006) wies in seinen Studien bei an Pneumonie erkrankten Schweinen α-hämolysierende Streptokokken, darunter *Streptococcus suis*, nach. De Vries (2010) fand ebenfalls *Streptococcus suis* in Schlachtlungen, die Zeichen von Herdläsionen oder einer thrombotisch-embolischen Pneumonie aufwiesen.
In der Lunge nachgewiesene *Escherichia coli* sind häufig lediglich eine Verunreinigung und keine auf physiologischem Weg in die Lunge gelangten Erreger (Steinhausen, 1999). *E. coli* gilt zwar nicht als typischer Erreger von Lungenerkrankungen, einige Stämme können aber bei Menschen und Tieren schwere Pneumonien verursachen (Kong et al., 2017; Smith et al., 2007). Eine Potenzierung pathogener Effekte, welche durch andere Erreger in der Lunge hervorgerufen wurden, ist, vor allem bei Schweinen mit bereits geschwächtem Immunsystem, ebenso möglich (Wieler et al., 2011). Außerdem besteht bei einer Kontamination des Schlachtkörpers die Gefahr einer Zoonose für den Verbraucher. Eine weitere Differenzierung zur Unterscheidung von apathogenen,

fakultativ pathogenen oder obligat pathogenen Stämmen wurde in dieser Arbeit aber nicht durchgeführt.
Viele Spezies der Gattung *Bacillus* verursachen alleine nur selten akute Erkrankungen, sondern gelangen häufig als Kontaminanten in Probenmaterial oder werden von Tieren aus der Umwelt aufgenommen, ohne dass dies gesundheitliche Auswirkungen hat. Gelegentlich kommt es, auch durch die hier nachgewiesene Spezies *Bacillus pumilis,* zu lokalen Entzündungsprozessen oder systemischen Infektionen, die sich auch in Form einer Pneumonie äußern können (Carmelita und Tuazon, 2018). Ähnlich verhält es sich mit der Gattung *Rothia*. Sie kann ebenfalls bei bereits immunsupprimierten Tieren zu verschiedenen Krankheitsbildern, darunter auch Pneumonien, führen (Becker und Peters, 2009).
Die Spezies *Actinobacillus pleuropneumoniae* zählt hingegen klar zu den wichtigsten Pneumonieerregern in der Schweinehaltung weltweit (Ewers und Wieler, 2011; Reiner, 2015). Auch Runge et al. (1996), Delbeck et al. (1997), Palzer (2006) und De Vries (2010) isolierten *Actinobacillus pleuropneumoniae* aus den Lungen von Schweinen mit respiratorischen Symptomen oder patho-physiologischen Lungenveränderungen. Die Bakterien der Gattung *Actinobacillus* können also durchaus für die beobachteten pathologischen Veränderungen der Lungen am Schlachtband verantwortlich oder mitverantwortlich gewesen sein. Eine sichere Identifizierung von *Actinobacillus pleuropneumoniae* auf Speziesebene war mangels vorhandener Referenzspektren in der verwendeten Datenbank leider nicht möglich (Score Value < 2,3).
Als ebenso pathogen ist die nachgewiesene Gattung *Haemophilus* zu bewerten. Vor allem *Haemophilus parasuis*, der Erreger der Glässerschen Krankheit, gilt als wichtiger Krankheitserreger beim Schwein. Er kann katarrhalisch-eitrige Bronchopneumonien und Pleuritis verursachen und kommt damit ebenfalls als Verursacher der Lungenveränderungen in Frage (Ewers und Wieler, 2011; Rapp-Gabrielson et al., 2006).
Bei den nachgewiesenen Staphylokokken handelt es sich dagegen nicht um klassische Erreger von Lungenerkrankungen beim Schwein. Sie können jedoch sowohl lokale als auch systemische eitrige Entzündungen verursachen und zu Abszessen beispielsweise in der Lunge führen (Valentin-Weigand, 2011). De Vries (2010) isolierte *Stapyhylococcus aureus* und *Staphylococcus hyicus* aus Herdläsionen in Schweinelungen. Weiterhin ist *Staphylococcus aureus* einer der wichtigsten Verursacher von bakteriellen Infektionen und Intoxikationen bei Menschen, es besteht also auch hier zoonotisches Potential (De Vries, 2010; Valentin-Weigand, 2011).

Statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich des mikrobiologischen Untersuchungsergebnisses zwischen Lungen unterschiedlicher Befundkategorien konnte nicht ermittelt werden. Dies liegt vermutlich daran, dass viele

Lungenerkrankungen, welche während der Aufzucht oder Mast abgelaufen sind, am Schlachthof zwar noch anhand von Gewebeschäden erkennbar waren, die Erreger aber meist nicht mehr nachweisbar sind, da die Erkrankung bereits länger zurücklag. Auch zwischen dem Auftreten pathogener Bakterienspezies und der Lungenbefundkategorie konnte kein Zusammenhang gezeigt werden. Spezies wie *Streptococcus* suis, *Actinobacillus pleuropneumoniae*, *Haemophilus parasuis, Pasteurella multocida* oder *Escherichia coli* wurden in Lungen jeder Befundkategorie und zum Teil auch bei Lungen ohne pathologische Veränderungen nachgewiesen.
Auch bei anderen Autoren wurden diese Erreger sowohl bei klinisch gesunden als auch bei Schweinen mit respiratorischen Erkrankungen gefunden (Delbeck et al., 1997; Ganter et al., 1993; Hartwig, 1994; Hensel et al., 1994; Kipper, 1990; Kusch und Siems, 1974; Palzer, 2006; Runge et al., 1996). Sie können somit nicht als zwingend ursächlich für die Veränderungen angesehen werden.

Bei einer Gegenüberstellung der mikrobiologischen Untersuchungsergebnisse von Lungen und akzessorischen Bursen konnten ebenfalls keine signifikanten Zusammenhänge nachgewiesen werden.
Schweine mit Bakterien in ihren Lungen hatten nicht signifikant häufiger oder mehr Bakterien in den Hilfsschleimbeuteln als Schweine, bei denen keine Keime in der Lunge nachgewiesen wurden. Das Keimspektrum von Lungen und akzessorischen Bursen unterschied sich zudem voneinander. Dies erscheint auch logisch, da die Lunge normalerweise gut belüftet ist und damit hauptsächlich von aerob oder fakultativ anaerob wachsenden Bakterien besiedelt wird. Das Innere der Hilfsschleimbeutel ist dagegen von der Luft abgeschlossen und bietet eher Anaerobiern geeignete Wachstumsbedingungen. Bislang gibt es keine Studien, die das Keimspektrum von Lungenproben und Hilfsschleimbeuteln am selben Tier untersuchten. Insofern können die hier vorliegenden Ergebnisse nicht verglichen werden.

Entzündungstypen bei akzessorischen Schleimbeuteln

Alle nach dem von Papsthard (1989) entwickelten Schema untersuchten Schleimbeutel zeigten entzündlichen Charakter, keiner wurde der Kategorie „Bursa ohne besonderen Befund“ zugeordnet. Am häufigsten war der reife Entzündungstyp (60 %) nachweisbar, gefolgt vom floriden Entzündungstyp (22 %), dem Mischtyp (13 %) und dem Abszesstyp (5 %).
Diese Ergebnisse bestätigen vorherige Studien von Papsthard (1989) und Gareis et al. (2016). Bei beiden Arbeiten dominierte ebenfalls der reife Entzündungstyp, gefolgt vom floriden Typ.
Die Ergebnisse zeigen, dass die meisten Schweine akzessorische Bursen mit einem reifen Entzündungstyp hatten. Das Entzündungsgeschehen ruhte also im Vergleich

zum floriden Typ eher und die Schleimbeutel zeigten sich histologisch reizlos. Knapp ein Viertel der Bursen wiesen allerdings ein aktives Entzündungsgeschehen auf, das sich durch Fibrin, Entzündungszellen, Einblutungen und einer großen Menge an jungem Granulationsgewebe äußerte (florider Entzündungstyp).
Bei diesen Bursen, ebenso wie bei den Bursen vom Abszesstyp, kann von einer Schmerzhaftigkeit und Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens ausgegangen werden, da Schmerz als eines der fünf Kardinalsymptome bei akuten Entzündungen gilt (Baumgärtner und Gruber, 2015). Zu dieser Ansicht gelangten auch andere Autoren (Gareis et al., 2016; Marchant, 1980; Papsthard, 1989).

Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Entzündungstyp und dem Bursagrad nachgewiesen werden. Der Anteil an Schleimbeuteln vom reifen Typ war bei hohen Bursagraden geringer als bei niedrigen Bursagraden, der Anteil an Schleimbeuteln vom floriden Typ dagegen größer. Der Abszesstyp, bei dem eine massive Entzündung mit Eiteransammlung vorliegt, machte bei den Grad 3 Bursen sogar 50 % aus.
Man kann aufgrund der vorliegenden Ergebnisse also davon ausgehen, dass mehr als 3 cm große Bursen oder solche mit ulzerierter Haut ein zunehmend aktives Entzündungsgeschehen und damit eine größere Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens der Schweine verursachen.
Dies lässt sich vermutlich dadurch erklären, dass große Bursen beim Liegen und beim Aufstehen bzw. Ablegen stärker belastet werden und mehr Druck ausgesetzt werden als dies bei kleineren Bursen der Fall ist. Dadurch könnten wiederholt Traumata entstehen, die immer wieder zu einer Aktivierung der Entzündungsvorgänge führen und sich im vermehrten Auftreten eines floriden Entzündungstyps äußern.
Die hohe Fallzahl von Abszessen bei Bursen vom Grad 3 lässt sich durch die ulzerierte Haut erklären. Durch die bereits geschädigte Haut wird es Eitererregern ermöglicht, in das Innere der Bursa einzudringen und dort einen Abszess hervorzurufen. Eine Streuung der Bakterien von anderen Infektionsherden im Körper über das Blut in die Bursen erscheint damit eher unwahrscheinlich, da die Häufigkeit des Abszesstyps dann auch bei Bursen mit intakter Haut (Grade 1 und 2) ähnlich hoch oder zumindest höher als ermittelt zu erwarten wäre.
Darauf deutet auch die Tatsache hin, dass beim Abszesstyp eine signifikant höhere Gesamtanzahl von Bakterien und mehr verschiedene Bakterienspezies nachweisbar waren. Allerdings muss hier auf die rein semiquantitative Auswertung der Bakterienanzahl verwiesen werden, welche nur eine eingeschränkte Aussagekraft hat.

CRP-Werte

Der Durchschnittswert der CRP-Serumkonzentration von Schweinen in Phase I betrug 69,4 μg/ml und lag damit signifikant unter dem Wert aus Phase II (192,0 μg/ml). Eine Erklärung für diesen Unterschied kann zum einen vermehrter Stress bei den Schweinen der zweiten Projektphase sein, da diese im Vergleich zu Schweinen aus der ersten Phase zum Schlachthof transportiert werden mussten. In Phase I erfolgte nur ein Umtrieb der Tiere vom Stallgebäude in das Schachtgebäude nebenan. Transport löst bei Schweinen nachweislich vermehrten Stress aus (Parrott und Misson, 1989) und kann damit auch erhöhte CRP-Werte verursachen (Piñeiro et al., 2007).

Auch hinsichtlich der Betäubungsverfahren unterschieden sich die beiden Projektphasen. Ob dies allerdings einen Effekt auf den CRP-Serumgehalt hat, wurde noch nicht wissenschaftlich untersucht. Dagegen kann auch die Tatsache, dass in der zweiten Projektphase (15,6 %) häufiger Hilfsschleimbeutel vom Grad 3 auftraten als in der ersten Phase (3,7 %) durchaus der Grund für die unterschiedlichen CRP-Spiegel sein, da ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Bursagrad und der CRP-Konzentration festgestellt wurde (s. unten).

Die Mittelwerte der CRP-Konzentration in den beiden Projektphasen lagen über den für Schweinen als physiologisch geltenden Serumspiegeln von 5 μg/ml bis 30 μg/ml (Martinez-Subiela et al., 2007; Pomorska-Mól et al., 2012a; Pomorska-Mól et al., 2012b, c). Dies spricht für pathologische Vorgänge bei den Schweinen wie beispielsweise Entzündungsgeschehen, Verletzungen, Krankheiten oder Stress, bei denen die CRP-Werte sich bis zu fünfundzwanzigfach erhöhen können (Chen et al., 2003; Eckersall et al., 1996; Martinez-Subiela et al., 2007; Pomorska-Mól et al., 2012c).

Der mikrobiologische Status oder der Entzündungstyp der akzessorischen Schleimbeutel hatten keinen signifikanten Einfluss auf die CRP-Konzentration. Allerdings haben diese Ergebnisse aufgrund der semiquantitativen mikrobiologischen Untersuchung und der groben histopathologischen Kategorisierung der Schleimbeutel nur eingeschränkte Aussagekraft.

Auch bei Schweinen mit unterschiedlichen Lungenkategorien konnten keine signifikanten Unterschiede im CRP-Serumgehalt ermittelt werden. Dies könnte daran liegen, dass die am Schlachthof zu sehenden Veränderungen auf bereits während der Mast abgelaufene und mittlerweile abgeheilte Infektionen zurückzuführen sind. Da der CRP-Spiegel im Blut nach zwei Tagen seinen Höhepunkt erreicht und bereits etwa sechs Tage nach einer Infektion wieder sinkt (Eckersall et al., 1996), waren vermutlich zum Zeitpunkt der Schlachtung keine hohen CRP-Werte bei Lungenveränderungen messbar.

Tiere mit akzessorischen Bursen wiesen dagegen im Durchschnitt signifikant höhere CRP-Konzentrationen auf (122,6 μg/ml) als Tiere ohne akzessorische Bursen (99,7 μg/ml). Besonders hoch waren die mittleren CRP-Werte bei Schweinen mit Grad 3 Bursen (239,9 μg/ml). Dies bestätigt die Ergebnisse der Studie von Gareis et al. (2016), die ebenfalls signifikant erhöhte Serumkonzentration von CRP bei Schweinen mit akzessorischen Schleimbeuteln nachwiesen.
Die erhöhten Werte bei Schweinen mit ulzerierten Hilfsschleimbeuteln können zum einen an den in der Haut ablaufenden Entzündungsvorgängen und dem entstandenen Trauma liegen, da diese die positiven APPs, zu welchen CRP gehört, schnell ansteigen lassen (Eckersall und Bell, 2010; Murata et al., 2004; Petersen et al., 2004). Die Schwere der Entzündung bzw. des Traumas steht dabei in positivem Zusammenhang mit der Höhe der CRP-Konzentration (Murata et al., 2004), sodass hohe Bursagrade besonders hohe Serumspiegel an CRP erklären.
Weiterhin ist es möglich, dass besonders große und bereits ulzerierte Hilfsschleimbeutel bei den Tieren Schmerzen oder zumindest eine Bewegungseinschränkung hervorriefen, wodurch sie unter höherem Stress standen als dies bei anderen Tieren der Fall war. Auch Murata et al. (2004), Pineiro et al. (2007) und Salamano et al. (2008) beschrieben erhöhte CRP-Konzentrationen im Blut von Schweinen mit vermehrtem Stress.

Signifikante Anstiege des CRP wurden zudem bei Schweinen mit nachweisbarem Bakterienwachstum in der Lunge festgestellt. Die vorhandene Bakterienanzahl übte einen signifikanten Einfluss auf den CRP-Wert aus. Dies lässt sich vermutlich dadurch erklären, dass sich das Immunsystem der Tiere, bei denen am Schlachthof noch Bakterien in der Lunge nachgewiesen wurden, zu diesem Zeitpunkt noch mit der Infektion auseinandersetzte und demnach erhöhte CRP-Gehalte im Blut vorlagen. Pallares et al. (2008) und Chen et al. (2003) berichteten bereits von erhöhten CRP-Spiegeln aufgrund von Pleuropneumonien.
Auch andere Autoren stellten erhöhte Spiegel von APPS wie CRP bei Schweinen, die mit Bakterien der Spezies *Actinobacillus pleuropneumoniae*, *Bordetella bronchiseptica* oder *Pasteurella multocida* infiziert wurden, fest (Hall et al., 1992; Heegaard et al., 1998; Pomorska-Mól et al., 2012b).

6 Schlussfolgerungen

Schlachtkörper- und Fleischqualität

Sowohl die Schlachtkörper- als auch die Fleischqualität der in dieser Studie untersuchten Schweine war insgesamt als gut zu beurteilen. Jedoch hatten Schweine mit Hilfsschleimbeuteln, vor allem mit Hilfsschleimbeuteln vom Grad 3, ein im Vergleich zu Schweinen ohne akzessorische Schleimbeutel signifikant niedrigeres Schlachtgewicht. Dies kann von wirtschaftlichem Interesse sein, da der Schlachtkörper damit einen geringeren Verkaufspreis erzielt. Zusätzlich entstehen bei der Mast solcher Schweine höhere Kosten durch eine längere Mastdauer, mehr Futtereinsatz und gegebenenfalls höhere Medikamentenkosten, da Tiere mit hochgradigen Bursen nicht nur ein niedrigeres Schlachtgewicht zeigten, sondern häufig auch eine schlechtere Lungengesundheit.

Weiterhin fiel auf, dass die Lungenbefundkategorie einen Einfluss auf den pH_{45}-Wert ausübte. Schlachtkörper mit pathologischen Lungenveränderungen hatten signifikant niedrigere pH-Werte 45 min nach der Schlachtung. Jedoch lagen auch diese Werte noch im Normbereich. Ansonsten konnte kein Einfluss der akzessorischen Bursen oder der Lungenbefunde auf die Schlachtkörper- und Fleischqualität festgestellt werden.

Fleischhygiene

Die mikrobiologischen Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass akzessorische Schleimbeutel nicht wie bisher angenommen fast ausnahmslos steril sind. Etwa ein Drittel der Schleimbeutel enthielt Bakterien. Da die Hilfsschleimbeutel am Schlachtband häufig nach dem Brühvorgang entfernt und dabei meist eröffnet werden, bergen die Mikroorganismen hinsichtlich der Fleischhygiene Risiken, da der Inhalt der Bursa mit den enthaltenen Bakterien über den Schlachtkörper fließen und diesen somit kontaminieren könnte. So kann es zu einem Eintrag von potentiell humanpathogenen Bakterien in die Lebensmittelkette kommen.

Eine Einschätzung des mikrobiologischen Status einer Bursa ist anhand der Größe oder des Zustandes der Haut am Schlachtband nicht möglich. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Bakteriennachweis, der Gesamtanzahl der enthaltenen Bakterien, der Anzahl der identifizierten Spezies und dem Bursagrad konnte in dieser Studie nicht gezeigt werden. Aus diesem Grund sollten alle Hilfsschleimbeutel großzügig umschnitten und entfernt werden, ohne sie dabei zu eröffnen. Da sich das Herausschneiden der Bursen vor allem an den Hintergliedmaßen am laufenden Schlachtband aufgrund des hohen Zeitdrucks sehr schwierig gestaltet, sollten die betroffenen Schlachtkörper gegebenenfalls separiert und nachbearbeitet werden. Wie dies bei der hohen Prävalenz der Hilfsschleimbeutel umzusetzen wäre, muss allerdings noch geklärt werden.

Die in den Lungenproben nachgewiesenen potentiell humanpathogenen Bakterienspezies stellen ebenfalls ein fleischhygienisches Problem dar. Der Großteil der Lungen war zudem hochgradig verändert und muss nach Anh. I Abschn. II Kap. V Nr. 1 Buchstabe p VO (EG) Nr. 854/2004 aufgrund „pathophysiologischer Veränderungen“ als genussuntauglich bewertet und als Kategorie 2 Material nach Art. 9 Buchst. h VO (EG) Nr. 1069/2009 gemäß Art. 13 VO (EG) Nr. 1069/2009 beseitigt werden (Anonymous, 2004, 2009b).
Ein signifikanter Zusammenhang zwischen den untersuchten mikrobiologischen Parametern und der Lungenbefundkategorie bestand nicht; demnach kann nicht von der rein makroskopischen Beurteilung auf eventuell vorhandene Bakterien geschlossen werden. Um das Risiko für Verbraucher genauer abschätzen zu können, sind weiterführende Studien nötig, da in dieser Arbeit weder bei den akzessorischen Schleimbeuteln noch bei den Lungenproben eine absolute Quantifizierung, sondern lediglich eine semiquantitative Erfassung der Bakterienanzahl erfolgte.

Tierwohl

Die hohen Prävalenzen von akzessorischen Bursen bei konventionell auf Spaltenböden gehaltenen Mastschweinen, die in vorherigen Studien publiziert wurden, konnten auch in dieser Arbeit bestätigt werden. Schleimbeutel mit ulzerierter Haut traten sogar deutlich häufiger auf als in der Vorgängerstudie von Gareis et al. (2016).
Bei der histopathologischen Untersuchung zeigten alle Hilfsschleimbeutel entzündlichen Charakter. Ein großer Teil der untersuchten Schweine hatte eine aktive Entzündung im Bereich der akzessorischen Schleimbeutel. Dieser Anteil nahm mit der Größe der Hilfsschleimbeutel noch zu. Bei Schleimbeuteln mit ulzerierter Haut zeigte die Hälfte Abszesscharakter.
Das Vorliegen einer Entzündung wird durch die signifikant erhöhten CRP-Werte bei Schweinen mit akzessorischen Bursen, insbesondere mit Bursen vom Grad 3, bestätigt. Da Schmerz eines der fünf klassischen Kennzeichen von Entzündungen ist (Baumgärtner und Gruber, 2015), bestätigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie frühere Erkenntnissen von Marchant (1980), Papsthard (1989) und Gareis et al. (2016). Von einer Schmerzhaftigkeit der Bursen ist auszugehen.
Neben den Boniturbefunden der Hilfsschleimbeutel wurde auch eine sehr hohe Prävalenz von makroskopisch sichtbaren pathologischen Lungenveränderungen ermittelt. Sie lag mit 82,5 % deutlich über den von den meisten anderen Autoren erhobenen Prävalenzen. Ein Großteil (53 %) der beobachteten Veränderungen machte mehr als 30 % der Lungenfläche aus und fiel damit in die höchste Befundkategorie.
Lungenentzündungen werden beim Menschen als ernstzunehmende Erkrankung angesehen. Sie gehen mit einer starken Einschränkung des Allgemeinbefindens

einher, verursachen schwerwiegende klinische Symptome sowie Schmerzen und haben eine hohe Mortalitätsrate (Kolditz und Höffken, 2009; Welte, 2010). Davon muss auch beim Schwein ausgegangen werden.

Die hohen Fallzahlen der akzessorischen Schleimbeutel in Verbindung mit den Entzündungszeichen, den erhöhten CRP-Werten und der vermuteten Schmerzhaftigkeit stellen tierschutzrelevante Befunde dar. Dies gilt auch für die hohe Prävalenz von pathologischen Lungenveränderungen. Gemeinsam zeigen diese Ergebnisse einen Handlungsbedarf hinsichtlich einer Verbesserung des Tierwohls in der Haltung von konventionell gehaltenen Mastschweinen auf (Gareis, 2016).

Eine Verbesserung ist nicht nur aus Sicht des deutschen Tierschutzgesetzes, das gleich in Paragraph 1 die Freiheit von Schmerzen, Leiden und Schäden fordert (Anonymous, 2009a), nötig. Auch die weltweit bekannten „Fünf Freiheiten“ des Farm Animal Welfare Council (1979) plädieren für die Freiheit von Schmerzen, Verletzungen und Krankheiten bei Nutztieren. Zudem ist für viele Verbraucher das Tierwohl mittlerweile ein wichtiger Teil der Qualität tierischer Produkte und beeinflusst deren Kaufverhalten (Breßler et al., 2013).

In der Schweiz ist man mit der Verbesserung der Haltungsbedingungen von Mastschweinen schon weiter. Dort sind seit September 2018 Vollspaltenböden gesetzlich verboten, da sie den Tieren keine geeignete Liegefläche bieten. Nicht perforierte Liegebereiche auf mindestens der Hälfte der Stallfläche sind nun verpflichtend. Die Perforation dieser Bereiche darf dabei maximal 2 % (Stallbau nach 2008) bzw. 5 % (Stallbau vor 2008) betragen. In Deutschland sind es laut Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung 15 %, was normalen Betonvollspalten entspricht (Götz, 2018). Eine Anpassung der gesetzlichen Mindestanforderungen an die Mastschweinehaltung in Deutschland nach ähnlichem Muster wäre wünschenswert.

Die akzessorischen Schleimbeutel eigenen sich zweifelsfrei als Indikator für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Schweine, da in der hier vorliegenden Studie ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen dem Auftreten und der Schwere der akzessorischen Schleimbeutel und den beobachteten Lungenveränderungen nachgewiesen werden konnte. Der Schlachthof ist für die Erfassung dieses Indikators geeignet, da hier alle Mastschweine verschiedener Mäster einer letzten tierärztlichen Kontrolle unterzogen werden und die dort erhobenen Befunde den Gesundheitszustand und die Haltungsbedingungen der Schweine während der Mast widerspiegeln (Gareis, 2017).

Zu beachten ist hierbei allerdings, dass der Beurteilung der akzessorischen Schleimbeutel schlachthofübergreifend ein einheitliches Boniturschema zugrunde gelegt werden muss. Dann kann die Erfassung am Schlachtband mit geringem Aufwand bei einer großen Anzahl von Schweinen erfolgen und liefert vergleichbare Daten. Anhand dieser Daten kann anschließend eine Einschätzung

der Tiergesundheit und des Tierwohls in den einzelnen Betrieben vorgenommen werden. Eine gezielte Beratung hinsichtlich einer Verbesserung des Tierwohls im Bestand und die Kontrolle von Haltungsbedingungen bei Schweinen, die gehäuft akzessorische Schleimbeutel und pathologische Lungenveränderungen zeigen, würde damit ermöglicht werden.

7 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden Untersuchungen zu akzessorischen Schleimbeuteln der Gliedmaßen und zu pathologischen Lungenveränderungen bei 274 konventionell gehaltenen Schlachtschweinen durchgeführt. Ziel war es, die Prävalenzen von Hilfsschleimbeuteln und Lungenveränderungen am Schlachthof zu erfassen und den Einfluss auf Tierwohl, Fleischhygiene und Fleischqualität zu beurteilen.

Bei der makroskopischen Untersuchung zeigten 82,5 % der Schlachtkörper Hilfsschleimbeutel, wobei die Boniturgrade 1 (32,5 %), 2 (41,0 %) und 3 (9,0 %) auftraten. Zudem wiesen 82,5 % der untersuchten Schlachtlungen makroskopisch erkennbare pathologische Veränderungen auf. Hier war die Befundkategorie 2 mit 53,0 % am häufigsten, gefolgt von der Kategorie 1 mit 29,5 %.

Es bestand ein positiver Zusammenhang zwischen den Lungenbefunden und dem Bursagrad: Bei Schweinen mit akzessorischen Bursen wurden signifikant häufiger pathologische Lungenveränderungen festgestellt als bei Schweinen ohne akzessorische Bursen. Zudem nahm mit steigendem Ausprägungsgrad der akzessorischen Schleimbeutel auch die Häufigkeit und Schwere der Lungenveränderungen zu.

Bei Schweinen mit Hilfsschleimbeuteln fiel ein signifikant verringertes Schlachtgewicht auf. Tiere mit Hilfsschleimbeuteln vom Grad 3 hatten im Vergleich zu Tieren ohne Hilfsschleimbeutel ein im Durchschnitt um 4,3 kg geringeres Gewicht. Signifikant niedrigere pH_{45}-Werte zeigten Schweine mit pathologischen Lungenveränderungen. Bei Schlachtkörpern mit pathologischen Veränderungen der Lungen (Kategorie 1 und 2) wurde im Mittel ein pH_{45}-Wert von 6,5 gemessen, während Schlachtkörper ohne oder mit lediglich geringen Lungenveränderungen (Kategorie 0) einen pH-Wert von 6,7 aufwiesen.

In 31,9 % der Hilfsschleimbeutel wurden kulturell Bakterien festgestellt, die insgesamt 22 verschiedenen Gattungen zugeordnet werden konnten. Dominant vertreten waren hierbei *Streptococcus* spp. und *Staphylococcus* spp. Molekularbiologisch konnte per qPCR in 78,0 % der Hilfsschleimbeutel DNA von *Mycoplasma hyopneumoniae*, *Mycoplasma hyosynoviae* oder *Mycoplasma hyorhinis* nachgewiesen werden.

Alle untersuchten Hilfsschleimbeutel zeigten histopathologisch unterschiedliche Ausprägungen von Entzündungszeichen. Zudem wurde bei Schweinen mit akzessorischen Schleimbeuteln eine höhere durchschnittliche Serumkonzentration (239,9 µg/ml) von C-reaktivem Protein, einem Entzündungsparameter, gemessen als bei Schweinen ohne Hilfsschleimbeutel (99,7 µg/ml).

Bei 65,3 % der Lungenproben wurde Bakterienwachstum festgestellt. Von den 34 identifizierten Bakteriengattungen waren die Gattungen *Streptococcus*, *Moraxella*, *Escherichia*, *Rothia*, *Haemophilus*, *Lactobacillus* und *Staphylococcus*

besonders häufig nachweisbar. Zudem wurde in 1,4 % der Lungen DNA von *Mycoplasma hyopneumoniae*, *Mycoplasma hyosynoviae* oder *Mycoplasma hyorhinis* nachgewiesen

Insgesamt lassen die Ergebnisse dieser Studie den Schluss zu, dass sich Hilfsschleimbeutel am Schlachthof als Parameter zur Erfassung von Tierwohlaspekten eignen. Gleichzeitig sind sie Indikatoren für pathologische Lungenveränderungen und damit für die Tiergesundheit.

Außerdem stellen sie aufgrund der enthaltenen Bakterien ein fleischhygienisch relevantes Risiko für den Menschen dar. Das verringerte Schlachtgewicht bei Schweinen mit akzessorischen Schleimbeuteln kann zudem zu wirtschaftlichen Verlusten führen.

Die hohen Prävalenzen von akzessorischen Schleimbeuteln und pathologischen Lungenveränderungen in Kombination mit den erhöhten Entzündungsparametern sowie den durchweg bei allen Hilfsschleimbeuteln vorhandenen Entzündungszeichen verdeutlichen, dass eine Verbesserung der Tiergesundheit und des Tierwohls in der konventionellen Schweinemast zwingend notwendig ist.

8 Summary

The present study examined the auxiliary bursae on extremities along with pathological lung changes that were carried out in 274 conventionally kept slaughter pigs. The objective of this study was to analyze the prevalence of auxiliary bursae and pulmonary changes at the abattoir and to evaluate the influence on animal welfare, meat hygiene and meat quality.

On macroscopic examination, 82,5 % of carcasses showed bursa, the occurrence and severity of bursae were therefore categorized from ratings 1 (32.5 %), 2 (41.0 %) and 3 (9.0 %). In addition, 82.5 % of the analyzed slaughtering showed macroscopically recognizable pathological changes. Findings were highest in category 2 with 53.0 %, followed by category 1 with 29.5 %.

There has been a positive correlation between the lung reports and the categorized ratings of the bursa. This means that pigs with auxiliary bursae have a significantly higher frequency of pathological pulmonary changes than pigs without auxiliary bursae. Furthermore, with an increase in the level of auxiliary bursa an increase in the frequency and severity of lung changes can be detected.

A significantly reduced carcass weight was noted in pigs that have been detected with bursae. Animals with rating 3 auxiliary bursae compared to animals without an auxiliary bursa weighed 4,3 kg less.

Pigs with pathological lung changes display a significantly lower pH_{45} value. In the case of carcasses with pathological changes in the lungs (categories 1 and 2), an average pH_{45} value of 6.5 was measured, whereas carcass with none to minor lung changes (category 0) show a value of 6.7.

Bacteria have been discovered in 31,9% of auxiliary bursa, which could be assigned to a total of 22 different species. Strongly represented bacteria are *Streptococcus* spp. and *Staphylococcus* spp. Molecular biology was able to prove DNA of *Mycoplasma hyopneumoniae*, *Mycoplasma hyosynoviae* or *Mycoplasma hyorhinis* in 78,0 % of the auxiliary bursa by qPCR.

All investigated bursa showed histopathological signs of inflammation. A higher average serum concentration (239.9 µg/ml) of C-reactive protein, an inflammatory parameter, was measured in pigs with auxiliary bursa than in pigs without an auxiliary bursa (99.7 µg/ml).

Bacterial growth was detected in 65.3% of the lung samples. Of the 34 different bacterial genus identified, *Streptococcus*, *Moraxella*, *Escherichia*, *Rothia*, *Haemophilus*, *Lactobacillus* and *Staphylococcus* were particularly frequently detectable. Furthermore, in 1,4 % of the lungs DNA from *Mycoplasma hyopneumoniae*, *Mycoplasma hyosynoviae* or *Mycoplasma hyorhinis* were present.

In conclusion, this points to the fact that auxiliary bursa at the slaughterhouse are useful as parameters for assessing aspects of animal welfare. At the same time, they are indicators of pathological lung changes and thus of animal health.
Moreover, due to the bacteria contained, they represent a relevant risk to humans regarding meat hygiene. Additionally, the reduced carcass weight in pigs with auxiliary bursae may lead to economic losses.
The high prevalence of auxiliary bursa and pathological lung changes in combination with the increased inflammatory parameters and the signs of inflammation consistently present in all auxiliary bursae, indicate that an improvement in animal health and animal welfare in conventional pig fattening is imperative.

9 Literaturverzeichnis

AALHUS, J. L., GARIEPY, C., MURRAY, A. C., JONES, S. D. M. & TONG, A. K. W. (1991) Stunning and shackling influences on quality of porcine longissimus dorsi and semimembranosus muscles. Meat Science 29, 323-334

AALUND, O., WILLEBERG, P., MANDRUP, M. & RIEMANN, H. (1976) Lung lesions at slaughter: associations to factors in the pig herd. Nordisk veterinaermedicin 28, 487-495

AEBI, C. (2011) *Moraxella catarrhalis* - pathogen or commensal? Advances in Experimental Medicine and Biology 697, 107-116

AMASS, S. F., CLARK, L. K., VAN ALSTINE, W. G., BOWERSOCK, T. L., MURPHY, D. A., KNOX, K. E. & ALBREGTS, S. R. (1994) Interaction of *Mycoplasma hyopneumoniae* and *Pasteurella multocida* infections in swine. Journal of the American Veterinary Medical Association 204, 102-107

ANDUS, T., HEINRICH, P., CASTELL, J. & GEROK, W. (1989) Interleukin-6: Ein Schlüsselhormon der Akutphase-Reaktion. Deutsche Medizinische Wochenschrift 114, 1710-1716

ANONYMOUS (1949) Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland vom 23.05.1949, zuletzt geändert durch das Gesetz vom 13. Juli 2017 (BGBl. I S. 2347)

ANONYMOUS (1986) Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper (Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung) vom 18.12.1986, in der Fassung vom 16. August 1990 (BGBl. I S. 1809), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 17. Juni 2014 (BGBl. I S. 793)

ANONYMOUS (1972) Tierschutzgesetz vom 24.07.1972, in der Fassung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), zuletzt geändert durch das Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626)

ANONYMOUS (2001) Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung – TierSchNutztV) vom 25.10.2001, in der Fassung vom 22.08.2006 (BGBl. S. 2043), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 30.06.2017 (BGBl. S. 2147)

ANONYMOUS (2004) Verordnung (EG) Nr. 854/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 mit besonderen Verfahrensvorschriften für die amtliche Überwachung von zum menschlichen Verzehr bestimmten Erzeugnissen tierischen Ursprungs (ABl. L 139 vom 30.4.2004, S. 206–320), zuletzt geändert durch die Durchführungsverordnung (EU) 2018/981 vom 11. Juli 2018 (ABl. L 176 vom 12.7.2018, S. 11–129)

ANONYMOUS (2009a) Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis (AVV Lebensmittelhygiene - AVV LmH) in der Fassung vom 9. November 2009, zuletzt geändert durch die Verwaltungsvorschrift vom 20.10.2014 (BAnz AT 07.11.2014 B2). Deutschland

ANONYMOUS (2009b) Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den

menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (ABl. L 300 vom 14.11.2009, S. 1–33), zuletzt geändert durch die Verordnung (EU) 2017/625 vom 15. März 2017 (ABl. L 95 vom 7.4.2017, S. 1–142).

AUGUSTINI, C. (1983) Ursachen unerwünschter Fleischbeschaffenheit beim Schwein. Fleischwirtschaft 70, 731-743

AUGUSTINI, C. & FISCHER, K. (1981) Behandlung der Schlachtschweine und Fleischbeschaffenheit - eine Felduntersuchung. Fleischwirtschaft 61, 775-785

AUGUSTINI, C., FISCHER, K. & SCHÖN, L. (1982) Bewegungsfordernde Haltung und Fleischbeschaffenheit beim Schwein. Fleischwirtschaft 62, 1161-1167

BACCI, M. L., NANNONI, E., GOVONI, N., SCORRANO, F., ZANNONI, A., FORNI, M., MARTELLI, G. & SARDI, L. (2014) Hair cortisol determination in sows in two consecutive reproductive cycles. Reproductive Biology 14, 218-223

BACKRYD, E. (2015) Pain in the blood? Envisioning mechanism-based diagnoses and biomarkers in clinical pain medicine. Diagnostics (Basel) 5, 84-95

BÄCKSTRÖM, L. & BREMER, H. (1978) The relationship between disease incidences of fatteners registered at slaughter and environmental factors in herds. Nordisk Veterinaermedicin 30, 526-533

BÄCKSTRÖM, L. & HENRICSON, B. (1966) Studies of adventitious bursitis of the hock in pigs. Nordisk Veterinaermedicin 18, 305-313

BARNETT, J. L., WINFIELD, C. G., CRONIN, G. M. & MAKIN, A. W. (1981) Effects of photoperiod and feeding on plasma corticosteroid concentrations and maximum corticosteroid-binding capacity in pigs. Australian journal of biological sciences 34, 577-586

BARTUSSEK, H. (1995) Tiergerechtheitsindex für Mastschweine: TGI35 L/1995 - Mastschweine. Gumpenstein, Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft, https://docplayer.org/80822504-Tiergerechtheitsindex-fuer-mastschweine-tgi-35-l-1995-mastschweine.html. Letzter Zugriff: 17.09.2018

BAUERFEIND, R. (2011a) *Bordetella-bronchiseptica*-Infektionen beim Schwein. In: Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre. Hrsg. H. SELBITZ, U. TRUYEN, P. VALENTIN-WEIGAND. Enke Verlag, Stuttgart. 171-175

BAUERFEIND, R. (2011b) Gramnegative aerobe/mikroaerophile Stäbchen und Kokken. In Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre. Hrsg. H. SELBITZ, U. TRUYEN, P. VALENTIN-WEIGAND. Enke Verlag, Stuttgart. 156-184

BAUMGÄRTNER, W. & GRUBER, A. D. (2015) Allgemeine Pathologie für die Tiermedizin. Georg Thieme Verlag, Stuttgart

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2017) Ab sofort: Stroh-Schwein auf dem Teller. http://www.stmelf.bayern.de/service/presse/pm/2017/168396/. Letzter Zugriff: 17.09.2018

BAYERNBANKETT GASTRONOMIE GMBH (2017) DIG Strohschwein Bayern: Tierwohl-Perspektiven aus Sicht aller Akteure der Wertschöpfungskette.

https://www.bayernbankett.de/dig-strohschwein-bayern-tierwohl-perspektiven-aussicht-aller-akteure-der-wertschoepfungskette/. Letzter Zugriff: 14.12. 2017

BECKER, K. & PETERS, G. (2009) *Staphylococcaceae, Micrococcaceae* und *Dermacoccaceae*. In: Mikrobiologische Diagnostik. Hrsg. B. NEUMEISTER, H. GEISS, R. BRAUN, P. KIMMIG. Thieme Verlag, Stuttgart, 333-354

BEHRENS, H. & TRAUTWEIN, G. (1964) Subkutane Schleimbeutel an den Sprunggelenken bei veredelten Landschweinen dänisch-holländischer Blutführung. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 71, 424-427

BELAYA, V. & HAHLBROCK, M. (2017) Vorsätze scheitern oft am Preisschild: Status Quo und Zukunftsaussichten in der ökologischen Fleischwirtschaft. Fleischwirtschaft 97(2), 24

BENNEWITZ, D. (1982) Der Einfluß pneumonischer Veränderungen auf die Massezunahme der Mastschweine. Monatsheft Veterinärmedizin 37, 917

BERGSCHMIDT, A. (2017) Wie sich Tiergerechtheit messen lässt. https://www.thuenen.de/de/thema/nutztiershyhaltung-und-aquakultur/wie-tiergerecht-ist-die-nutztierhaltung/wie-sich-tiergerechtheit-messen-laesst/. Letzter Zugriff: 04.10.2017

BERNER, H., PAPSTHARD, E. & HERMANNS, W. (1990) Diseases of the extremities of swine in relationship to the floor condition with special reference to bursitis. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 103, 51-60

BICKHARDT, K. (1988) Belastungsmyopathien. In Lehrbuch der Schweinekrankheiten. Hrsg. H. PLONAIT, K. BICKHARDT. Parey Verlag, Berlin. 241

BINKE, R. (2003) Vom Muskel zum Fleisch. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung 162, 347-354

BLAHA, T. (1992) Zur Prävalenz der respiratorischen Erkrankungen des Schweines in den wichtigen schweinefleischproduzierenden Ländern. Collegium Veterinarium 23, 64-67

BLAHA, T. & BLAHA, M. L. (1995) Qualitätssicherung in der Schweinefleischerzeugung. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

BLAHA, T., MEEMKEN, D., DICKHAUS, C. P. & KLEIN, G. (2007) Vorschläge zur Gestaltung der Lebensmittelketteninformationen für die Umsetzung der risikoorientierten Schlachttier-und Fleischuntersuchung. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 114, 309-316

BLAHA, T. & NEUBRAND, J. (1994) Die durchgängige Qualitätssicherung bei der Schweinefleischproduktion. Praktischer Tierarzt, Bd 1, 57-61

BLAHA, T. & RICHTER, T. (2014) Die besondere Verantwortung des Tierarztes für den Tierschutz. Am Beispiel der Nutztierhaltung. Deutsches Tierärzteblatt 1, 16-17

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2017a) Kennzahlenübersicht der Fleischarten/Bilanzpositionen. https://datenzentrum.ble.de/ernaehrung/schlachtungen-fleisch/kennzahlenuebersicht-der-fleischarten-bilanzpositionen-interaktive-grafik/. Letzter Zugriff: 15.10.2017

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2017b) Presseinformation: Deutsche essen 8 kg weniger Fleisch als vor 20 Jahren.

https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2017/170330_Fleisch.html/. Letzter Zugriff: 18.9.2017

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2018) Versorgung mit Fleisch in Deutschland im Kalenderjahr 2017 (vorläufig). https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Versorgungsbilanzen/Fleisch_2017.html. Letzter Zugriff: 22.07.2018

BLOKHUIS, H. J., JONES, R. B., GEERS, R., MIELE, M. & VEISSIER, I. (2003) Measuring and monitoring animal welfare: transparency in the food product quality chain. Animal Welfare 12, 445-456

BLÖMKE, L. & KEMPER, N. (2017) Tierschutzindikatoren beim Schwein am Schlachthof - Entwicklung einer automatisierten Erfassung. Rundschau für Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung 8/2017, 269-271

BLOWEY, R. W. (1993) *Mycoplasma hyosynoviae* arthritis. Pig Veterinary Journal (United Kingdom) 30, 72-76

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2011) Gemeinsame Stellungnahme: Politikstrategie Food Labelling. Berichte über Landwirtschaft 90, 35-38

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2016) Beratungsgremium: Der Kompetenzkreis Tierwohl. http://www.bmel.de/DE/Tier/Tierwohl/_texte/Kompetenzkreis-Tierwohl-Ueberblick.html. Letzter Zugriff: 24.10.2017

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2017a) Bio-Siegel. https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Oekolandbau/_Texte/Bio-Siegel.html. Letzter Zugriff: 26.10.2017

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2017b) Deutschland, wie es isst - Der BMEL-Ernährungsreport 2017. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Ernaehrungsreport2017.pdf?__blob=publicationFile. Letzter Zugriff: 17.09.2018

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2017c) Eine Frage der Haltung - Neue Wege für mehr Tierwohl. https://www.tierwohl-staerken.de/aktuelles/news-details/news/eine-strategie-fuer-mehr-tierwohl-in-der-nutztierhaltung/. Letzter Zugriff: 12.2.2018

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2017d) Nutztierhaltungsstrategie: Zukunftsfähige Tierhaltung in Deutschland. Berlin

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2017e) Statistik und Berichte des BMEL. https://www.bmel-statistik.de/footernavigation/archiv/statistisches-jahrbuch/. Letzter Zugriff: 15.10.2017

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2018) Das staatliche Tierwohllabel. https://www.tierwohl-staerken.de/einkaufshilfen/staatliches-tierwohllabel/. Letzter Zugriff: 22.07.2018

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT & MAX RUBNER INSTITUT (2008) Nationale Verzehrsstudie II - Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen. Hrsg. MAX-RUBNER-INSTITUT, BUNDESFORSCHUNGSINSTITUT FÜR ERNÄHRUNG UND LEBENSMITTEL. Karlsruhe

BOEHRINGER INGELHEIM (2013) Lungengesundheit: Einfluss der Jahreszeit. https://www.tiergesundheitundmehr.de/lungengesundheit-schwein.pdfx. Letzter Zugriff: 05.06.2018

BOLLO, J. M., MENJON, R. & CAIRO, E. (2008) Review of the" 0 to 5 scoring method" for enzootic pneumonia slaughterhouse lesions. Durban, Proceeding of 20th IPVS Congress, 104

BOSTELMANN, N. (2000) Untersuchung über den Einfluß von Vermarkterorganisationen auf die Tiergesundheit und Fleischqualität von Mastschweinen anhand der am Schlachtbetrieb erhobenen Organbefunde, pH-Werte und Schinkenkerntemperaturen. Dissertation, Freie Universität Berlin

BRAMBELL, F. W. R. (1965) Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. H.M. Stationery Office, London

BREMERMANN, N. (2001) Vergleichende Untersuchungen zur Gesundheit, Mastleistung und Fleischqualität von Schweinen in der Stall- bzw. Freilandhaltung. Dissertation, Freie Universität Berlin

BREßLER, N., ZACHARIAS, T., ZACHARIAS, B., SCHRADE, H. & STEFANSKI, V. (2013) Welfare Quality® - Protokoll für Mastschweine - Ist Tierwohl messbar? Boxberg, Institut für Tierhaltung und Tierzüchtung, Universität Hohenheim

BROCKMEIER, S. L., HALBUR, P. G. & THACKER, E. L. (2002) Porcine respiratory disease complex. In: Polymicrobial Diseases. Hrsg. K. A. BROGDEN, J. M. GUTHMILLER. ASM Press, Washington (DC), 231-258

BROOM, D. M. & FRASER, A. F. (2007) Domestic animal behavior and welfare. CAB International Verlag, Cambridge

BRUHN, D. & WOLLENTEIT, U. (2017) Rechtsgutachten zur Frage der Vereinbarkeit der Haltungsvorgaben für Mastschweine mit dem Tierschutzgesetz sowie zur Zulässigkeit einer Verschärfung der Haltungsvorgaben. Hrsg. GREENPEACE E.V., Hamburg

BUESS, T. & LUDWIG, C. (1995) Diagnostic value of C-reactive protein in comparison with erythrocyte sedimentation as routine admission diagnostic test. Schweizerische Medizinische Wochenschrift 125, 120-124

BUNDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG (2015) Duden Recht A-Z. Fachlexikon für Studium, Ausbildung und Beruf. Bibliographisches Institut, Berlin

BÜRGER, W., FENNERT, E. M., POHLE, M. & WESEMEIER, H. (1992) C-reactive protein - a characteristic feature of health control in swine. Transboundary and Emerging Diseases 39, 635-638

BÜRGER, W., EWALD, C. & FENNERT, E. M. (1998) Increase in C-reactive protein in the serum of piglets (pCRP) following ACTH or corticosteroid administration. Zoonoses and Public Health 45, 1-6

BUSCH, R. J. & KUNZMANN, P. (2004) Leben mit und von Tieren. Ethisches Bewertungsmodell zur Tierhaltung in der Landwirtschaft. Ethik-Institut Technik-Theologie-Naturwissenschaften. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München

BÜSCHER, W. (2013) Stallbau und Technik der Schweinemast. In: Schweinemast. Hrsg. S. HOY. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 69-85

CARMELITA, U. & TUAZON, M. (2018) *Bacillus* species. http://www.antimicrobe.org/b82.asp. Letzter Zugriff: 25.6.2018

CARPENTER, J. W. T. & GRUEN, P. H. (1982) Cortisol's effects on human mental functioning. Journal of Clinical Psychopharmacology 2, 91-101

CASTELL, J. V., GÓMEZ-LECHÓN, M. J., DAVID, M., ANDUS, T., GEIGER, T., TRULLENQUE, R., FABRA, R. & HEINRICH, P. C. (1989) Interleukin-6 is the major regulator of acute phase protein synthesis in adult human hepatocytes. FEBS letters 242, 237-239

CHANNON, H. A., PAYNE, A. M. & WARNER, R. D. (2000) Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. Meat Science 56, 291-299

CHANNON, H. A., PAYNE, A. M. & WARNER, R. D. (2003) Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO2. Meat Science 65, 1325-1333

CHEN, H. H., LIN, J. H., FUNG, H. P., HO, L. L., YANG, P. C., LEE, W. C., LEE, Y. P. & CHU, R. M. (2003) Serum acute phase proteins and swine health status. Canadian Journal of Veterinary Research 67, 283-290

CHRISTENSEN, G., SORENSEN, V. & MOUSING, J. (1999) Diseases of the respiratory system. In: Diseases of Swine. 8. Aufl., Hrsg. B. STRAW, S. D`ALLAIRE, W. L. MENGELING, D. J. TAYLOR. Iowa State University Press, Ames, 913-940

CLAUS, R. (1996) Physiologische Grenzen der Leistungen beim Schwein. Züchtungskunde 68, 493-505

CLEVELAND-NIELSEN, A., NIELSEN, E. O. & ERSBØLL, A. K. (2002) Chronic pleuritis in Danish slaughter pig herds. Preventive Veterinary Medicine 55, 121-135

CURTIS, S. E., KINGDON, D. A., SIMON, J. & DRUMMOND, J. G. (1976) Effects of age and cold on pulmonary bacterial clearance in the young pig. American Journal of Veterinary Research 37, 299-301

DE JONG, I. C., PRELLE, I. T., VAN DE BURGWAL, J. A., LAMBOOIJ, E., KORTE, S. M., BLOKHUIS, H. J. & KOOLHAAS, J. M. (2000) Effects of environmental enrichment on behavioral responses to novelty, learning, and memory, and the circadian rhythm in cortisol in growing pigs. Physiology & Behavior 68, 571-578

DE JONG, M. F. (1999) (Progressive) atrophic rhinitis. In: Diseases of Swine. 8. Aufl., Hrsg. B. STRAW, S. D`ALLAIRE, W. L. MENGELING, D. J. TAYLOR. Iowa State University Press, Ames, 355-384

DE VRIES, V. (2010) Erhebung von Organbefunden und Konfiskatabzügen von Schlachtschweinen an Schlachthöfen in der Schweiz und deren Korrelation mit Betriebs- und Managementdaten. Dissertation, Universität Zürich

DEBLITZ, C. & EFKEN, J. (2017) Steckbriefe zur Tierhaltung in Deutschland: Mastschwein. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig

DELBECK, F., TEGELER, R. & GANTER, M. (1997) Lungenspülungen bei Schweinen im Erzeugerbetrieb. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 104, 374-378

DESROSIER, R. (2001) A review of some aspects of the epidemiology, diagnosis, and control of *Mycoplasma hyopneumoniae* infections. Journal of Swine Health and Production 9, 133-137

DESTATIS (2010) Landwirtschaftszählung 2010: Landwirtschaftliche Betriebe mit Haltungsplätzen für Schweine nach Haltungsverfahren am 1.3.2010. https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Landwirtschaftszaehlung2010/Tabellen/9_2_LandwBetriebHaltungsplaetzeSchweine.html. Letzter Zugriff: 13.10.2017

DESTATIS (2017) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Viehbestand. In Fachserie 3 Reihe 4.1 vom 3. Mai 2017, Hrsg. STATISTISCHES BUNDESAMT. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/ViehbestandTierischeErzeugung/Viehbestand2030410185314.pdf?__blob=publicationFile. Letzter Zugriff: 17.09.2018

DESTATIS (2018a) Durchschnittliches Schlachtgewicht von Schweinen in Deutschland in den Jahren 1900 bis 2017. https://de.statista.com/statistik/daten/studie/163421/umfrage/schweine---schlachtgewicht/. Letzter Zugriff: 18.06.2018

DESTATIS (2018b) Genesis-Online Datenbank: Allgemeine und Repräsentative Erhebung über die Viehbestände. https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Datenbanken/Datenbanken.html Letzter Zugriff: 22.07.2018

DEUTSCHER BAUERNVERBAND (2017) Pressemeldungen: Nutztierhaltungsstrategie zwischen Tierwohl, Umwelt und Wettbewerb - DBV-Veredelungstag in Osnabrück. https://www.bauernverband.de/nutztierhaltungsstrategie-zwischen-tierwohl-umwelt-und-wettbewerb-802490. Letzter Zugriff: 05.09.2018

DEUTSCHER TIERSCHUTZBUND E.V. (2017a) Grundgesetz - Staatsziel Tierschutz. https://www.tierschutzbund.de/information/hintergrund/recht/grundgesetz.html. Letzter Zugriff: 10.10.2017

DEUTSCHER TIERSCHUTZBUND E.V. (2017b) Zeichen für ein besseres Leben. https://www.tierschutzlabel.info/home/. Letzter Zugriff: 25.10.2017

DOEDT, H., RÖHE, R. & KALM, E. (1996) Derzeitige Situation der pathologisch-anatomischen Befunde von Schlachtschweinen. Deutsche Gesellschaft für Züchtungskunde, Schriftenreihe 4, 118-127

DONE, S. H. (1991) Environmental factors affecting the severity of pneumonia in pigs. Veterinary Record 128, 582-586

DONG, Q. & WRIGHT, J. R. (1996) Expression of C-reactive protein by alveolar macrophages. The Journal of Immunology 156, 4815-4820

DRUMMOND, J., CURTIS, S. & SIMON, J. (1978) Effects of atmospheric ammonia on pulmonary bacterial clearance in the young pig. American Journal of Veterinary Research 39, 211-212

EBERSOLE, J. L. & CAPPELLI, D. (2000) Acute-phase reactants in infections and inflammatory diseases. Periodontology 2000 /23, 19-49

ECKERSALL, P. D. & BELL, R. (2010) Acute phase proteins: Biomarkers of infection and inflammation in veterinary medicine. The Veterinary Journal 185, 23-27

ECKERSALL, P. D., SAINI, P. K. & MCCOMB, C. (1996) The acute phase response of acid soluble glycoprotein, α1-acid glycoprotein, ceruloplasmin, haptoglobin and C-reactive protein, in the pig. Veterinary Immunology and Immunopathology 51, 377-385

ECKINGER, E. (2016) Fleischkonsum: Diese Länder konsumieren am meisten. https://www.agrarheute.com/land-leben/fleischkonsum-diese-laender-konsumieren-meisten-528934. Letzter Zugriff: 15.10.2017

EDWARDS, M. J., PENNY, R. H. C. & MULLEY, R. (1971) Enzootic pneumonia of pigs, the incidence of pneumonic lesions seen in an abattoir in New South Wales. Australian Veterinary Journal 47, 477-480

ESCOBAR, J., VAN ALSTINE, W. G., BAKER, D. H. & JOHNSON, R. W. (2007) Behaviour of pigs with viral and bacterial pneumonia. Applied Animal Behaviour Science 105, 42-50

EVANS, F. D., CHRISTOPHERSON, R. J. & AHERNE, F. X. (1988) Development of the circadian rhythm of cortisol in the gilt from weaning until puberty. Canadian Journal of Animal Science 68, 1105-1111

EWERS, C. & WIELER, L. H. (2011) Pasteurellaceae. In: Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre. 9. Aufl., Hrsg. H. SELBITZ, U. TRUYEN, P. VALENTIN-WEIGAND. Enke Verlag, Stuttgart, 221-246

FARM ANIMAL WELFARE COUNCIL (1979) Five Freedoms. http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20121010012427/http://www.fawc.org.uk/freedoms.htm. Letzter Zugriff: 04.10.2017

FEHLHABER, K., STRYCZEK, E. & SCHÜPPEL, H. (1992) Untersuchungen zur lebensmittelhygienischen Bedeutung von Lungenveränderungen bei Schlachtschweinen. Beitrag zum Problem der Entstehung primär bakterieller Kontamination des Fleisches. Fleischwirtschaft 72, 778-784

FELDHUSEN, F., NEUMANN-FUHRMANN, D. & WENZEL, S. (1987) Die Leitfähigkeit als Parameter der Fleischbeschaffenheit. Fleischwirtschaft 67, 455-460

FIEDEL, B. A. & GEWURZ, H. (1976) Effects of C-reactive protein on platelet function I. Inhibition of platelet aggregation and release reactions. The Journal of Immunology 116, 1289-1294

FIENE, D., SCHULZ, M., EITING, J. & MAY, S. (2013) Das Schwein - Woher kommt unser Schnitzel? In i.m.a. Sachinformationen. Berlin, information.medien.agrar e.V.

FILEP, J. & FÖLDES-FILEP, É. (1989) Effects of C-reactive protein on human neutrophil granulocytes challenged with N-formyl-methionyl-leucyl-phenylalanine and platelet-activating factor. Life sciences 44, 517-524

FISCHER, K. & AUGUSTINI, C. (1977) Stadien der postmortalen Glykogenolyse bei unterschiedlichen pH1-Werten in Schweinefleisch. Fleischwirtschaft 57, 1191-1194

FISCHER, K. & AUGUSTINI, C. (1981) Hälftenunterschiede in der Fleischbeschaffenheit beim Schwein durch einseitiges Hängen während des Schlachtprozesses. Fleischwirtschaft 61, 1187-1190

FLESJA, K. & ULVESAETER, H. (1979) Pathological lesions in swine at slaughter. I. Baconers. Acta Veterinaria Scandinavica 20, 498-514

FLESJA, K. I. & ULVESAETER, H. O. (1980) Pathological lesions in swine at slaughter. III. Inter-relationship between pathological lesions, and between pathological lesions and 1) carcass quality and 2) carcass weight. Acta Veterinaria Scandinavica 74, 367-373

FUJII, J., OTSU, K., ZORZATO, F., DE LEON, S., KHANNA, V. K., WEILER, J. E., O'BRIEN, P. J. & MACLENNAN, D. H. (1991) Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. Science 253, 448-451

FUNKE, J. (2009) Erhebung von Organbefunden und Konfiskatabzügen von Schlachtschweinen an Schlachthöfen in der Schweiz und deren Korrelation mit Betriebs- und Managementdaten.

GANTER, M., KIPPER, S., SCHOÈTTGER-WEGENER, H., BECKMANN, G. & BUNKA, S. (1993) Pneumoniediagnostik am lebenden Schwein mit Hilfe der Lungenspülung. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 106, 330-333

GAREIS, M., OBERLÄNDER, S., ZIPPLIES, J., REESE, S., SCHADE, B., BÖHM, B. & SCHWAIGER, K. (2016) Prävalenz von Hilfsschleimbeuteln (Bursae auxiliares) und Klauenverletzungen bei Mastschweinen zum Schlachtzeitpunkt - Ergebnisse einer Studie an vier Schlachthöfen. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 129, 428-436

GAREIS, M. (2017) Persönliche Mitteilung an Philippa Wagner im Rahmen einer Projektbesprechung zum Thema „Technopathien der Gliedmaßen bei Mastschweinen“. Lehrstuhl für Lebensmittelsicherheit, Ludwig-Maximilians-Universität München

GAULDIE, J., RICHARDS, C., HARNISH, D., LANSDORP, P. & BAUMANN, H. (1987) Interferon beta 2/B-cell stimulatory factor type 2 shares identity with monocyte-derived hepatocyte-stimulating factor and regulates the major acute phase protein response in liver cells. Proceedings of the National Academy of Sciences 84, 7251-7255

GENTRY, J. G., MCGLONE, J. J., MILLER, M. F. & BLANTON, J. R. (2004) Environmental effects on pig performance, meat quality, and muscle characteristics. Journal of Animal Science 82, 209-217

GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DES TIERWOHLS IN DER NUTZTIERHALTUNG MBH (2015) Information zur Initiative Tierwohl-Schwein.

GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DES TIERWOHLS IN DER NUTZTIERHALTUNG MBH (2017) Initiative Tierwohl. https://initiative-tierwohl.de/. Letzter Zugriff: 14.7.2018

GEVERINK, N. A., JONG, I. C. D., LAMBOOIJ, E., BLOKHUIS, H. J. & WIEGANT, V. M. (1999) Influence of housing conditions on responses of pigs to preslaughter treatment and consequences for meat quality. Canadian Journal of Animal Science 79, 285-291

Growth from Knowledge (2015) GfK-Umfrage im Auftrag der Welt am Sonntag. http://www.gfk.com/de/insights/news/deutsche-wollen-faire-produkte-zu-billigen-preisen/. Letzter Zugriff: 25.10.2017

GILLMAN, C. E., KILBRIDE, A. L., OSSENT, P. & GREEN, L. E. (2008) A cross-sectional study of the prevalence and associated risk factors for bursitis in weaner, grower and finisher pigs from 93 commercial farms in England. Preventive Veterinary Medicine 83, 308-322

GLAWISCHNIG, E. (1965) Ein Beitrag zum Vorkommen subkutaner Schleimbeutel an den Extremitäten des Schweines. Wiener Tierärztliche Monatsschrift. 52, 98-101

GLODEK, P., BRANDT, H. & MEYER, J. (1994) Die genetische Distanz zwischen ost- und westdeutschen Schweinerassen. Archiv für Tierzucht 37, 145-154

GOODWIN, R. F. W., POMEROY, A. P. & WHITTELS, P. (1965) Production of enzootic pneumonia in pigs with a mycoplasma. Veterinary Record 77, 1247

GÖTZ, M. (2018) Von der Vollspalten- zur Zweiflächenbucht: Umbau von Ställen mit Vollspaltenboden. Rundschau für Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung, 9, 297-299

GROß, H. (2017) Schmidt stellt staatliches Tierwohllabel vor. https://www.bmel.de/DE/Tier/Tierwohl/_texte/Tierwohllabel-Vorstellung-IGW.html/. Letzter Zugriff: 12.12.2017

GROSSE BEILAGE, E. & WENDT, M. (2013) Diagnostik und Gesundheitsmanagement im Schweinebestand. UTB Verlag, Stuttgart

GROTH, W. (1987) Einfluss der Ladedichte beim Transport von Schlachtschweinen auf Belastungsreaktionen und die Fleischqualitat bei einem Platzangebot von 0, 45 sowie 0, 50 qm. Dissertation, Freie Universität Berlin

GUÀRDIA, M. D., ESTANY, J., BALASCH, S., OLIVER, M. A., GISPERT, M. & DIESTRE, A. (2004) Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs. Meat Science 67, 471-478

GUY, J. H., ROWLINSON, P., CHADWICK, J. P. & ELLIS, M. (2002) Health conditions of two genotypes of growing-finishing pig in three different housing systems: implications for welfare. Livestock Production Science 75, 233-243

HABERLAND, A. M., DODENHOFF, J., EISENREICH, R. & GÖTZ, K.-U. (2017) Untersuchungen zum Auftreten von Hilfsschleimbeuteln bei bayerischen Mastschweinen aus konventioneller Haltung. Züchtungskunde 89, 268-280

HALL, W. F., EURELL, T. E., HANSEN, R. D. & HERR, L. G. (1992) Serum haptoglobin concentration in swine naturally or experimentally infected with *Actinobacillus pleuropneumoniae*. Journal of the American Veterinary Medical Association 201, 1730-1733

HAMMEL, M. L. & BLAHA, T. (1993) Erfassung pathologisch-anatomischer Organbefunde am Schlachthof. III: Zusammenhänge zwischen der Tiergesundheit und der Schlachtkörperqualität beim Schwein. Fleischwirtschaft 73, 1427-1430

HANNAN, P., BHOGAL, B. & FISH, J. (1982) Tylosin tartrate and tiamutilin effects on experimental piglet pneumonia induced with pneumonic pig lung homogenate containing mycoplasmas, bacteria and viruses. Research of Veterinary Science 33, 76-88

HARBARTH, S. J. (2006) Postoperative Wundinfektionen. In: Praktische Krankenhaushygiene und Umweltschutz. 2. Aufl. Hrsg. F. DASCHNER, M. DETTENKOFER, U. FRANK, Springer Verlag, Berlin, 243-236

HARBERS, A. H. M., SMEETS, J. F. M. & SNIJDERS, J. M. A. (1992) Erfassung postmortaler Anomalitäten bei Schweinen an der Schlachtlinie. Fleischwirtschaft 72, 131-138

HARTWIG, W. (1994) Die Eignung der Bronchoskopie und der bronchoalveolären Lavage (BAL) für die epidemiologische Untersuchung respiratorischer Erkrankungen im Schweinebestand. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

HAY, M., VULIN, A., GÉNIN, S., SALES, P. & PRUNIER, A. (2003) Assessment of pain induced by castration in piglets: behavioral and physiological responses over the subsequent 5 days. Applied Animal Behaviour Science 82, 201-218

HEEGAARD, P. M. H., KLAUSEN, J., NIELSEN, J. P., GONZÁLEZ-RAMÓN, N., PIÑEIRO, M., LAMPREAVE, F. & ALAVA, M. A. (1998) The porcine acute phase response to infection with *Actinobacillus pleuropneumoniae*. Haptoglobin, C-reactive protein, major acute phase protein and serum amyloid A protein are sensitive indicators of infection. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology 119, 365-373

HEES, H. & SINOWATZ, F. (2000) Histologie: Kurzlehrbuch der Zytologie und mikroskopischen Anatomie. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln

HEINRITZI, K. (2006) Allgemeiner Untersuchungsgang. In: Schweinekrankheiten. 1. Aufl., Hrsg. K. HEINRITZI, H. R. GINDELE, G. REINER, U. SCHNURRBUSCH. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 16-22

HENKE, J. & ERHARDT, W. (2001) Schmerzmanagement bei Klein-und Heimtieren, Georg Thieme Verlag, Stuttgart

HENSEL, A., WINDT, H., STOCKHOFE-ZURWIEDEN, N., LÖDDING, H., KOCH, W. & PETZOLDT, K. (1993) A porcine aerosol infection model for studying dose dependent effects caused by *Actinobacillus pleuropneumoniae* bacteria. Journal of Aerosol Medicine 6, 73-88

HENSEL, A., GANTER, M., KIPPER, S., KREHON, S., WITTENBRINK, M. M. & PETZOLDT, K. (1994) Prevalence of aerobic bacteria in bronchoalveolar lavage fluids from healthy pigs. American Journal of Veterinary Research, 55, 1697-1702

HOFMANN, K. (1973) Was ist Fleischqualität? Fleischwirtschaft 53, 485-489

HOFMANN, K. (1987) Der pH - Wert. Ein Qualitätskriterium für Fleisch. Fleischwirtschaft 67, 557-562

HOFMANN, K. (1992) Bedeutung des Qualitaetsbegriffs bei Fleisch und Fleischerzeugnissen in Wissenschaft und Praxis. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Fleischforschung Kulmbach 1, 369-369

HOKAMA, Y., COLEMAN, M. K. & RILEY, R. F. (1962) In vitro effects of C-reactive protein on phagocytosis. Journal of Bacteriology 83, 1017-1024

HONIKEL, K. O. (2007) Physikalische Messmethoden zur Erfassung der Fleischqualität. In: Qualität von Fleisch und Fleischwaren - Band 2., 2. Aufl., Hrsg. W. BRANSCHEID, K. O. HONIKEL, G. VON LENKGERKEN, K. TROEGER. Deutscher Fachverlag GmbH, Frankfurt am Main, 855-881

HORST, I., LINDNER, A., KRÜGER, M., GINDELE, H. & STING, R. (1997) Verbreitung der *Mycoplasma hyopneumoniae* Infektion in Deutschland. Schluβfolgerungen für die Bekämpfung der Enzootischen Pneumonie der Schweine, Tierärztliche Umschau 52, 508-514

HOY, S. (1987) Auswirkungen infektiöser Faktorenkrankheiten auf die Leistungen der Schweine und deren Kontrolle durch computergestützte Fleischuntersuchung und Vermarktung. Dissertation, Universität Leipzig

HOY, S. (2016) Tierwohl - Worüber reden wir eigentlich. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft - Mitteilungen 11, 26-29

HOY, S., VON BORELL, E., RICHTER, T. & SUNDRUM, A. (2004) Das HACCP-Programm in der Schweinehaltung - Kritische Kontrollpunkte (CCP) aus der Sicht der Tiergesundheit. Züchtungskunde 76, 367-380

HUBER, K. (2015) Spezielle Endokrinologie. In: Physiologie der Haustiere. Hrsg. W. ENGELHARDT, G. BREVES, M. DIENER, G. GÄBEL. Enke Verlag, Stuttgart, 538-551

HURLIMANN, J., THORBECKE, G. & HOCHWALD, G. (1966) The liver as the site of C-reactive protein formation. Journal of Experimental Medicine 123, 365-378

HURNIK, D., HANNA, P. E. & DOHOO, I. R. (1993) Evaluation of rapid gross visual appraisal of swine lungs at slaughter as a diagnostic screen for enzootic pneumonia. Canadian Journal of Veterinary Research 57, 37

IFIP INSTITUTE DU PORC (2002) Surveillance des lésions pulmonaires a l'abattoir. Techni Porc 27/4, 15-20

INTERNATIONALE GESELLSCHAFT FÜR NUTZTIERHALTUNG (2016) Nutztierhaltung im Fokus - Tierschutzindikatoren am Schlachthof. In: Informationsbroschüre der IGN e. V. über aktuelle Ereignisse aus der Forschung zum Wohlbefinden der Tiere. http://www.ign-nutztierhaltung.ch/sites/default/files/PDF/IGN_FOKUS_2016.pdf. Letzter Zugriff: 17.09.2018

JATURASITHA, S. (1996) Effects of a pig production system focussing on animal welfare, on technological properties of carcass, meat and fat, as well as on appearance for marketing. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen

JENSEN, A. & BLAHA, T. (1997) Zum Zusammenhang zwischen Management- und Hygienefaktoren in Schweinemastbeständen und Organveränderungen am Schlachthof. Praktischer Tierarzt 78, 494-504

JORSAL, S. E. & THOMSEN, B. L. (1988) A cox regression analysis of risk factors related to *Mycoplasma suipneumoniae* reinfection in Danish SPF-herds. Acta Veterinaria Scandinavica 84, 436-437

KALLWEIT, E. (1994) Die Bedeutung der Fleischqualität bei der Vermarktung. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 101, 267-270

KALLWEIT, E., FRIES, R., KIELWEIN, G. & SCHOLTYSSEK, S. (1988) Qualität tierischer Nahrungsmittel. Ulmer Verlag, Stuttgart

KAO, C., SZYMCZAK, W. & MUNJAL, I. (2017) Meningitis due to *Moraxella nonliquefacien*s in a paediatric patient: a case report and review of the literature. JMM Case Reports 4, 67-72

KAPLAN, M. H. & VOLANAKIS, J. E. (1974) Interaction of C-reactive protein complexes with the complement system. The Journal of Immunology 112, 2135-2147

KELLEY, K. W. (1985) Immunological consequences of changing environmental stimuli. In: Animal Stress. Hrsg. G. P. MOBERG. Springer, New York, 193-223

KIELSTEIN, P., SCHIMMEL, D. & HORSCH, F. (1981) Vergleichende ätiopathogenetische Untersuchungen zur Pneumonie des Kalbes und Schweines. Monatshefte fur Veterinarmedizin 36, 133-139

KILBRIDE, A. L., GILLMAN, C. E. & GREEN, L. E. (2009) A cross sectional study of the prevalence, risk factors and population attributable fractions for limb and body lesions in lactating sows on commercial farms in England. BMC Veterinary Research 5, 30

KILPATRICK, J. M., GRESHAM, H. D., GRIFFIN, F. & VOLANAKIS, J. E. (1987) Peripheral blood mononuclear leukocytes release a mediator that induces phagocytosis of C-reactive protein-coated cells by polymorphonuclear leukocytes. Journal of Leukocyte Biology 41, 150-155

KINNE, J., JOHANNSEN, U., NEUMANN, R., MEHLHORN, G. & PFÜTZNER, H. (1991) Untersuchungen zur Pathologie und Pathogenese der experimentellen *Mycoplasma hyorhinis*-Infektion von Ferkeln ohne und mit thermomotorischer Belastung. Journal of Veterinary Medicine Series A 38, 306-320

KIPPER, S. (1990) Bronchoskopie bei Schweinen sowie mikrobiologische und zytologische Untersuchungen der bronchoalveolären Spülflüssigkeiten. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

KIRCHHEIM, U., SCHÖNE, F. & REICHARDT, W. (1997) Einfluss des intramuskulären Fettes auf Parameter der Fleischbeschaffenheit. Fleischwirtschaft 77, 410-411

KNIERIM, U. (2002) Grundsätzliche ethologische Überlegungen zur Beurteilung der Tiergerechtheit bei Nutztieren. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 109, 261-266

KOBISCH, M., BLANCHARD, B. & LE POTIER, M. F. (1993) *Mycoplasma hyopneumoniae* infection in pigs: duration of the disease and resistance to reinfection. Veterinary Research 24, 67-77

KÖFER, J., AWAD-MASALMEH, M. & THIEMANN, G. (1993) Der Einfluß von Haltung, Management und Stallklima auf die Lungenveränderungen bei Schweinen. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 100, 319-322

KÖHLER, M. (2015) Auch ein Mastschwein kann glücklich sein. http://www.blickpunkt-verlag.de/bpws/nachrichten/landkreis_hof/art278486,3852947,. Letzter Zugriff: 07.09.2018

KOJ, A. (1985) Cytokines regulating acute inflammation and synthesis of acute phase proteins. Blut 51, 267-274

KOLDITZ, M. & HÖFFKEN, G. (2009) Ambulant erworbene Pneumonie - Community-acquired pneumonia. Der Pneumologe 6, 179-190

KONG, L. C., GUO, X., WANG, Z., GAO, Y. H., JIA, B. Y., LIU, S. M. & MA, H. X. (2017) Whole genome sequencing of an ExPEC that caused fatal pneumonia at a pig farm in Changchun, China. BMC Veterinary Research 13, 169

KRENN, K. (2013) „Tierwohl"-Schweinemast: Lohnt sich die Umstellung? https://www.agrarheute.com/management/finanzen/tierwohl-schweinemast-lohnt-umstellung-457534. Letzter Zugriff: 25.10.2017

KRENN, K. (2016) Die Top 8 Export-Länder für deutsches Schweinefleisch. https://www.agrarheute.com/tier/schwein/top-8-export-laender-fuer-deutsches-schweinefleisch-522050. Letzter Zugriff: 15.10.2017

KUCHLING, E., SCHLICHT, H., TÖNNIES, R. & WEBER, A. (1969) Einfluß der Ausruhzeit auf den pH-Wert, das Safthaltevermögen und den Keimgehalt bei Schlachtschweinen. Fleisch 23, 283-288

KULPYS, J., JANČIENĖ, I. & STANKEVIČIUS, R. Zum Einfluss eines Kombinationspräparats auf Basis organischer Säuren und ätherischer Öle auf die Mastleistung von Schweinen unter litauischen Verhältnissen. In: Tagungsband des 4. BOKU-Symposiums Tierernährung. Hrsg. C. PLITZNER, G. WETSCHEREK-SEIPELT, K. SCHEDLE, W.-M. WINDISCH, Eigenverlag der Abteilung Tierische Lebensmittel, Tierernährung und Ernährungsphysiologie, Department für Lebensmittelwissenschaften und -technologie der BOKU, Wien, 186-193

KUSCH, D. & SIEMS, H. (1974) A contribution to the characteristics of Staphylococci recovered from swine (author's transl). Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene. Erste Abteilung Originale. Reihe B: Hygiene, präventive Medizin 159, 95-104

KUSHNER, I. (1982) The phenomen of the acute phase response. Annals of the New York Academy of Sciences 389, 39-48

KUTA, A. E. & BAUM, L. L. (1986) C-reactive protein is produced by a small number of normal human peripheral blood lymphocytes. Journal of Experimental Medicine 164, 321-326

KWASNIEWSKI, N. (2016) Die Schweine-Industrie. http://www.spiegel.de/wirtschaft/service/fleischatlas-2016-massentierhaltung-wird-zum-standard-a-1071716.html. Letzter Zugriff: 13.10.2017

LAHRMANN, K. H., STEINBERG, C., DAHMS, S. & HELLER, P. (2003) Prävalenzen von bestandsspezifischen Faktoren und Gliedmassenerkrankungen und ihre Assoziationen in der intensiven Schweineproduktion. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 116, 67-73

LAMMENS, V., PEETERS, E., MAERE, H. D., MEY, E. D., PAELINCK, H., LEYTEN, J. & GEERS, R. (2007) A survey of pork quality in relation to pre-slaughter conditions, slaughterhouse facilities, and quality assurance. Meat Science 75, 381-387

LEE, A. & COLEMAN, P. (2013) Escherichia coli - Marauding masquerading microbe. Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma 4, 194-198

LEHNERT, H. (2016) Initiative Tierwohl: Erweiterte Erfassung der Befunddaten. https://www.topagrar.com/news/Schwein-News-Schwein-ITW-Erweiterte-Erfassung-der-Befunddaten-4484983.html. Letzter Zugriff: 17.09.2017

LENEVEU, P., POMMIER, P., MORVAN, H. & LEWANDOWSKI, E. (2012) Bewertung von Läsionen der Atemwege des Schweins am Schlachthof. Zoopôle développement, Ploufragan

LENGERKEN, G., WICKE, M. & FISCHER, K. (2007) Schlachttierwert des Schweines. In Qualität von Fleisch und Fleischwaren - Band 1. Hrsg. W. BRANSCHEID, K. O. HONIKEL, G. VON LENKGERKEN, K. TROEGER. Deutscher Fachverlag GmbH, Frankfurth am Main, 207-246

LIENEMANN, B., THÖLKING, L. & BRENNER, K. V. (1991) Rückmeldungen von Schlachtbefunden zeigen Handlungsbedarf für die Tiergesundheit. Schweinewelt 6, 8-10

LIGGETT, A. D., HARRISON, L. R. & FARRELL, R. L. (1987) Sequential study of lesion development in experimental *Haemophilus pleuropneumoniae* infection. Research in Veterinary Science 42, 204-212

LIN, J. H., CHEN, S. P., YEH, K. S. & WENG, C. N. (2006) *Mycoplasma hyorhinis* in Taiwan: Diagnosis and isolation of swine pneumonia pathogen. Veterinary Microbiology 115, 111-116

LITTMANN, E., GÖTZ, K. U. & DODENHOFF, J. (2006) Fleischqualität. In: Schweinezucht und Schweineproduktion. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, München, 137-156

LORZ, A. & METZGER, E. (2008) Tierschutzgesetz Kommentar. C. H. Beck Verlag, München

LÜTJENS, A. & KALM, E. (1995) Zusammenhang zwischen analytischen und sensorischen Fleischbeschaffenheitsparametern. Fleischwirtschaft 75, 484-491

LUY, J. (2005) Tierschutzethik und ethischer Tierschutz. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 112, 104-106

LYONS, C. A. P., BRUCE, J. M., FOWLER, V. R. & ENGLISH, P. R. (1995) A comparison of productivity and welfare of growing pigs in four intensive systems. Livestock Production Science 43, 265-274

MÄHLMANN, B. (1996) Zum Informationsgehalt von Organbefunden von Schlachtschweinen für epidemiologische Erhebungen über den Gesundheitsstatus von Mastschweinebeständen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

MALITTE, A. (1974) Les examens de poumons de porcs à l`abattoir: intéret, méthodes et résultats. Bulletin ITP 74, 19-29

MARCHANT, B. A. (1980) Survey of hind limb bursitis and arthritis in slaughtered pigs. State Veterinary Journal 35, 123-129

MARTINEZ-SUBIELA, S., ECKERSALL, P. D., CAMPBELL, F. M., PARRA, M. D., FUENTES, P. & CERON, J. J. (2007) A time-resolved immunofluorometric assay for porcine C-reactive protein quantification in whole blood. Luminescence 22, 171-176

MAYER, C. (1999) Stallklimatische, ethologische und klinische Untersuchungen zur Tiergerechtheit unterschiedlicher Haltungssysteme in der Schweinemast. Dissertation, Technische Universität München

MEILER, H. (2016) Stroh in der Schweinehaltung. Rundschau für Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung,, 44-45

MELLOR, D. J. & STAFFORD, K. J. (2004) Physiological and behavioural assessment of pain in ruminants: principles and caveats. Alternatives To Laboratory Animals 32, 267-271

MEYER-HAMME, S. E. K. (2015) Zusammenhang zwischen Bestands-, Gruppengröße und Indikatoren des Tierwohls in der konventionellen Schweinemast.Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen

MICKWITZ, G. V. & HEUKING, L. (1990) Minimum requirements for the handling of slaughter pigs during loading, transport, lairage and stunning from the aspects of animal welfare and meat quality. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 97, 28-30

MINKUS, D. (2003) Untersuchungen zum Zusammenhang von Lungengesundheit und postmortaler Fleischreifung beim Schwein anhand der pH-Werterfassung (pH1 und pH24) und der Messung der Schinkenkerntemperatur, mit besonderer Berücksichtigung der Umgebungsvariablen Ladedichte, Äquivalenttemperatur, Fahrtdauer und Ruhezeit. Dissertation, Freie Universität Berlin

MOLONY, V. & KENT, J. E. (1997) Assessment of acute pain in farm animals using behavioral and physiological measurements. Journal of Animal Science75, 266-272

MORTON, D. B. A. & GRIFFITHS, P. H. M. (1985) Guidelines on the recognition of pain, distress and discomfort in experimental animals and an hypothesis for assessment. Veterinary Record 116, 431-436

MOUTTOTOU, N., HATCHELL, F. M. & GREEN, L. E. (1997) Risk factors associated with adventitious bursitis in growing-finishing pigs. Épidémiologie et Santé Animale, 31-32

MOUTTOTOU, N., HATCHELL, F. M. & GREEN, L. E. (1998a) Adventitious bursitis of the hock in finishing pigs: prevalence, distribution and association with floor type and foot lesions. Vet Rec 142, 109-114

MOUTTOTOU, N., STERRY, J. & GREEN, L. E. (1998b) Cohort study of the association between adventitious bursitis of the hock and the age at slaughter and carcase quality of the pigs on one farm. Veterinary Record 142, 52-55

MOUTTOTOU, N., HATCHELL, F. M. & GREEN, L. E. (1999) Prevalence and risk factors associated with adventitious bursitis in live growing and finishing pigs in south-west England. Preventative Veterinary Medicine 39, 39-52

MUIRHEAD, M. R. & ALEXANDER, T. J. L. (1997) Managing pig health and the treatment of disease: a reference for the farm. 5M Enterprises Ltd., Sheffield

MÜLLER, S. & BRAUN, U. (2017) Was ist Schweinefleischqualität? (erfasste Merkmale und ihre Bedeutung). Hrsg. THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Erfurt

MURATA, H., SHIMADA, N. & YOSHIOKA, M. (2004) Current research on acute phase proteins in veterinary diagnosis: an overview. The Veterinary Journal 168, 28-40

MURPHY, T. M., BAUM, L. L. & BEAMAN, K. D. (1991) Extrahepatic transcription of human C-reactive protein. Journal of Experimental Medicine 173, 495-498

NEUBERT, E., GÜRTLER, H. & VALLENTIN, G. (1996) Einfluß einer akuten Belastung auf die Plasmakonzentrationen an Catecholaminen und Cortisol sowie an Metaboliten bei streßempfindlichen Mastschweinen. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 109, 381-384

NIELSEN, N. C. (1988) *Mycoplasma*-associated enzootic bursitis in growing pigs. In: Proceedings of the 10th International Pig Veterinary Society Congress. Rio de Janeiro, 240

OBERLÄNDER, S. (2015) Untersuchungen zum Vorkommen von akzessorischen Bursen bei Mastschweinen. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München

OKAMURA, J. M., MIYAGI, J. M., TERADA, K. & HOKAMA, Y. (1990) Potential clinical applications of c-reactive protein. Journal of Clinical Laboratory Analysis 4, 231-235

OLIVEIRA, S. R. & PIJOAN, C. (2002) Diagnosis of *Haemophilus parasuis* in affected herds and use of epidemiological data to control disease. Journal of Swine Health and Production 10, 221-225

ORSI, A. (1967) The occurrence of swelling of the hock region in white pork breeds. Magyar Allatorvosok 22, 271-274

OSADEBE, L. U., HANSON, B., SMITH, T. C. & HEIMER, R. (2013) Prevalence and characteristics of *Staphylococcus aureu*s in Connecticut swine and swine farmers. Zoonoses and Public Health 60, 234-243

OSBORNE, A. D., SAUNDERS, J. R. & K-SEBUNYA, T. (1981) An abattoir survey of the incidence of pneumonia in Saskatchewan swine and an investigation of the microbiology of affected lungs. The Canadian Veterinary Journal 22, 82-85

OSMAND, A. P., FRIEDENSON, B., GEWURZ, H., PAINTER, R. H., HOFMANN, T. & SHELTON, E. (1977) Characterization of C-reactive protein and the complement subcomponent C1t as homologous proteins displaying cyclic pentameric symmetry (pentraxins). Proceedings of the National Academy of Sciences 74, 739-743

PALLARES, F. J., MARTINEZ-SUBIELA, S., SEVA, J., RAMIS, G., FUENTES, P., BERNABE, A., MUNOZ, A. & CERON, J. J. (2008) Relationship between serum acute phase protein concentrations and lesions in finishing pigs. Veterinary Journal 177, 369-373

PALZER, A. (2006) Keimspektrum und Erregerassoziationen bei gesunden und an Pneumonie erkrankten Schweinen. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München

PALZER, A., RITZMANN, M., WOLF, G. & HEINRITZI, K. (2005) Erregernachweis aus bronchoalveolärer Lavage bei Schweinen mit Atemwegserkrankungen. Tierärztliche Umschau 60, 550-556

PAPSTHARD, E. (1989) Die Auswirkungen der Fussbodenbeschaffenheit auf die Hinterextremitäten des Schweines unter besonderer Berücksichtigung der Hilfsschleimbeutel und deren Entzündung. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München

PARROTT, R. F. & MISSON, B. H. (1989) Changes in pig salivary cortisol in response to transport simulation, food and water deprivation and mixing. British Veterinary Journal 145, 501-505

PENNY, R. H. C. & HILL, F. W. (1974) Observations of some conditions in pigs at the abattoir with particular reference to tail biting. Veterinary Record 94, 174

PENNY, R. H. C. & MUIRHEAD, M. R. (1986) Skin. In: Diseases of Swine. 6. Aufl., Hrsg. A. D. LEMAN, B. SRAW, R. D. GLOCK, W. L. MENGELING, R. H. C. PENNY, E. SCHOLL. Iowa State University Press, Ames

PENNY, R. H. C., OSBORNE, A. D. & WRIGHT, A. I. (1963) The causes and incidence of lameness in store and adult pigs. Veterinary Record 75, 1225-1240

PÉREZ, M. P., PALACIO, J., SANTOLARIA, M. P., ACEÑA, M. C., CHACÓN, G., GASCÓN, M., CALVO, J. H., ZARAGOZA, P., BELTRAN, J. A. & GARCÍA-BELENGUER, S. (2002) Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. Meat Science 61, 425-433

PETERSEN, H. H., NIELSEN, J. P. & HEEGAARD, P. M. (2004) Application of acute phase protein measurements in veterinary clinical chemistry. Veterinary Research 35, 163-187

PFLANZ, W. (2007) Gesamtheitliche Beurteilung innovativer Schweinemastverfahren für Baden-Württemberg. Dissertation, Universität Hohenheim

PFLANZ, W., BECK, J., JUNGBLUTH, T., TROXLER, J. & SCHRADE, H. (2005) Bewertung innovativer Schweinemastverfahren im Rahmen einer Feldstudie - Ergebnisse zur Ethologie und Funktionssicherheit. Landtechnik–Agricultural Engineering 60, 222-223

PIJOAN, C. (1986) Respiratory system. In Diseases of Swine. 6. Aufl., Hrsg. A. D. LEMAN, B. STRAW, R. D. GLOCK, W. L. MENGELING, R. H. C. PENNY, E. SCHOLL. Iowa State University Press, Ames, 469-483

PILL, K. (2014) Untersuchungen zur Verwendung von klinischen und pathologisch/anatomischen Befunden am Schlachthof für die Einschätzung der Tiergesundheit und des Tierschutzes in Schweine– und Rinderbeständen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

PINEIRO, M., PINEIRO, C., CARPINTERO, R., MORALES, J., CAMPBELL, F. M., ECKERSALL, P. D., TOUSSAINT, M. J. & LAMPREAVE, F. (2007) Characterisation of the pig acute phase protein response to road transport. The Veterinary Journal 173, 669-674

PLONAIT, H. (2004) Hautkrankheiten und Hautveränderungen. In: Lehrbuch der Schweinekrankheiten. Hrsg. K. H. WALDMANN., M. Wendt. Parey Verlag, Stuttgart, 61-91

POHL, C. & URHAHN, J. (2016) Gute Nahrung für die Stadt. In: Fleischatlas - Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel. Hrsg. HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG. Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland, Berlin, 20-21

POINTON, A. M., HEAP, P. & MCCLOUD, P. (1985) Enzootic pneumonia of pigs in South Australia - factors relating to incidence of disease. Australian Veterinary Journal 62, 98-101

POMORSKA-MÓL, M., KWIT, K. & MARKOWSKA-DANIEL, I. (2012a) Major acute phase proteins in pig serum from birth to slaughter. Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy 56, 553-557

POMORSKA-MÓL, M., MARKOWSKA-DANIEL, I. & KWIT, K. (2012b) Acute phase protein response in pigs experimentally co-infected with swine influenza virus and *Bordetella bronchiseptica*. Central European Journal of Immunology 37, 221-226

POMORSKA-MÓL, M., MARKOWSKA-DANIEL, I. & KWIT, K. (2012c) Immune and acute phase response in pigs experimentally infected with H1N2 swine influenza virus. FEMS Immunology & Medical Microbiology 66, 334-342

POTT, U. (1997) Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Transportbedingungen und unterschiedlicher Entladetechnik auf ausgewählte physiologische Parameter und die Fleischqualität. Dissertation, Freie Universität Berlin

POTTHAST, K. & HAMM, R. (1976) Biochemie des DFD-Fleisches. Fleischwirtschaft 56, 978

PROBST, D. (1989) Konturstörungen an den Extremitäten des Schweines bei unterschiedlicher Haltung. Dissertation, Universität Zürich

PROBST, D., KELLER, H. & TROXLER, J. (1990) Zum Einfluß der Haltung auf die Anbildung von Schwielen und subkutanen Schleimbeuteln an den Gliedmaßen der Schweine. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 97, 11-14

PRUNIER, A., MOUNIER, A. M. & HAY, M. (2005) Effects of castration, tooth resection or tail docking on plasma metabolites and stress hormones in young pigs. Journal of Animal Science 83, 216-222

RAPP-GABRIELSON, V. J., OLIVEIRA S. R. & PIJOAN, C. (2006) *Haemophilus parasuis*. In: Diseases of Swine. 9. Aufl., Hrsg. B. E. STRAW, J. J. ZIMMERMANN, S. D`ALLAIRE, D. J. TAYLOR. Blackwell Publishing, Ames, 681-690

REICHERT, T. (2016) Der grosse Strukturwandel. In Fleischatlas 2016 - Deutschland regional. Hrsg. HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG. Verlag des Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland, Berlin, 8-9

REINER, G. (2015) Krankes Schwein - kranker Bestand. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

REUTER, G. (2008) Mikrobiologische und technologische Grundlagen. In: Mikrobiologie der Lebensmittel: „Fleisch-Fisch-Feinkost". Hrsg.G. REUTER, Behr´s Verlag, Hamburg, 2-14

REYMANN, T. (2016) Vergleichende Überprüfung des Tierschutzes an Schlachthöfen anhand rechtlicher Vorgaben und fachlicher Leitparameter. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München

RICHTER, A., BOLANZ, H., GOTTSCHALK, C. & RICHTER, T. (2012) Lungenbefunde bei Schlachtschweinen. In: 17. Internationale Fachtagung zum Thema Tierschutz der DVG. Hrsg. DEUTSCHE VETERINÄRMEDIZINISCHE GESELLSCHAFT, DVG-Verlag, Nürtingen

RIEPER, M. (2013) Epidemiologische Untersuchungen zur Verwendung der tierärztlichen Befundung am Schlachthof als tierorientierte Tierschutzkriterien zur Beurteilung der Tiergesundheit und des Tierwohls der Tiere in Schweinemastbeständen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

RITZMANN, M. & HEINRITZI, K. (2005) Klinisches Bild, Diagnostik und Differenzialdiagnostik der Glässer'schen Krankheit. Tierärztliche Praxis Großtiere 33, 61-64

ROBERTSON, I. S., KENT, J. E. & MOLONY, V. (1994) Effect of different methods of castration on behaviour and plasma cortisol in calves of three ages. Research in Veterinary Science 56, 8-17

ROOZEN, A. W., TSUMA, V. T. & MAGNUSSON, U. (1995) Effects of short-term restraint stress on plasma concentrations of catecholamines, beta-endorphin, and cortisol in gilts. American Journal of Veterinary Research 56, 1225-1227

ROSS, R. F. & DUNCAN, J. R. (1970) *Mycoplasma hyosynoviae* arthritis of swine. Journal of the American Veterinary Medical Association 157, 1515

RUIS, M. A. W., TE BRAKE, J. H. A., ENGEL, B., EKKEL, E. D., BUIST, W. G., BLOKHUIS, H. J. & KOOLHAAS, J. M. (1997) The circadian rhythm of salivary cortisol in growing pigs: effects of age, gender, and stress. Physiology & Behavior 62, 623-630

RUNGE, M., GANTER, M., DELBECK, F., HARTWICK, W., RÜFFER, A., FRANZ, B. & AMTSBERG, G. (1996) Nachweis von Pneumonieerregern bei Schweinen aus Problembeständen: Kulturelle und immunfluoreszenzmikroskopische Untersuchungen der bronchoalveolären Lavage (BAL) und serologische Befunde. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 109, 101-107

RYBARCZYK, A., LUPAKOWSKA, A., HARTUNA, B. & SULERZYCKA, A. (2017) Auswirkungen des Nahrungsentzugs vor der Schlachtung und des Geschlechts auf die Qualität von Schweinefleisch. Fleischwirtschaft 7/2017, 92-96

SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2002) Verbrauchergerechte Schweinefleischqualität - Herausforderung an die Primärerzeugung. In: Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft – Heft 7, Hrsg. FREISTAAT SACHSEN - SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, Eigenverlag der Säsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden

SACKMANN, G. (1988) Einfluss der Ausruhzeit sowie von Umgebungs- und technologischen Faktoren auf klinische und fleischhygienische Parameter bei Schlachtschweinen. Dissertation, Freie Universität Berlin

SALAMANO, G., MELLIA, E., CANDIANI, D., INGRAVALLE, F., BRUNO, R., RU, G. & DOGLIONE, L. (2008) Changes in haptoglobin, C-reactive protein and pig-MAP during a housing period following long distance transport in swine. The Veterinary Journal 177, 110-115

SAVARY, P., GYGAX, L., JUNGBLUTH, T., WECHSLER, B. & HAUSER, R. (2011) A pilot study on the improvement of the lying area of finishing pigs by a soft lying mat. Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift 124, 17-21

SAVARY, P., HAUSER, R. & WECHSLER, B. (2007) Einsatz von Kunststoffmatten im Liegebereich von Mastschweinen: positive Effekte auf das Liegeverhalten und Hautschäden an den Gliedmassen. In: ART-Berichte. 684. Aufl., Hrsg. FORSCHUNGSANSTALT AGROSCOPE RECKENHOLZ-TÄNIKON. ART-Verlag, Ettenhausen, 1-8

SCHARNER, E. (1997) Begriffliches zu den Termini Fleisch und Fleischqualität. Fleischwirtschaft 77, 140-141

SCHEPER, J. & SCHOLZ, W. (1985) DLG-Schnittführung für die Zerlegung der Schlachtkörper von Rind, Kalb, Schwein und Schaf. DLG-Verlag, Frankfurth am Main

SCHIFFELER, J. (2017) Aldi-Billigfleisch in der Kritik. Allgemeine Fleischer Zeitung 134/22, 1

SCHMITTEN, F., BURGSTALLER, G., HAMMER, K., MATZKE, P., MITTRACH, B. & SCHMID, W. (1989) Handbuch Schweineproduktion: Züchtung - Ernährung - Produktionstechnik - Haltungssysteme - Krankheiten - Hygiene - Vermarktung - Wirtschaftlichkeit. Verlagsunion AGRAR DLG-Verlag, Frankfurt am Main

SCHOLZ, A. & HARDGE, T. (1994) Zum Einfluß von MHS-Genotyp und Genkonstruktion auf komplexe quantitative Merkmale der Mast-und Schlachtleistung sowie Fleischqualität beim Schwein. Archiv für Tierzucht 37, 245-256

SCHÖSS, P. (1982) *Bordetella-bronchiseptica*-Infektion in einem SPF-Schweinebestand. Ein Beitrag zur Ätiologie der Rhinitis atrophicans. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 89, 177-216

SCHRÖDER, L. (1994) Die Bewertung von Tiergesundheit und Risikofaktoren für Atemwegserkrankungen als Grundlage für die präventive Bestandsbetreuung von Schweinebeständen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

SCHUH, M. (2001) Stallklimabedingte Erkrankungen beim Schwein. In: Gumpensteiner Bautagung 2001. Hrsg. BUNDESANSTALT FÜR ALPENLÄNDISCHE LANDWIRTSCHAFT (BAL) GUMPENSTEIN. BAL, Gumpenstein, 93-96

SCHULMAN, A., ESTOLA, T. & GARRY-ANDERSSON, A.-S. (1970) On the occurrence of *Mycoplasma hyorhinis* in the respiratory organs of pigs, with special reference to enzootic pneumonia. Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe B 17, 549-553

SCHULZE, B., SPILLER, A. & LEMKE, D. (2008) Glücksschwein oder arme Sau? Die Einstellung der Verbraucher zur modernen Nutztierhaltung. In: Zukunftsperspektiven der Fleischwirtschaft: Verbraucher, Märkte, Geschäftsbeziehungen. Hrsg. A. SPILLER. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen, 465-488

SCHÜTTE, A., BORK, S., MERGENS, A., POTT, U. & VENTHIEN, S. (1996) MHS-genetic, lean meat-content and findings in lungs-the dominant factors in relation to meat quality?. Landbauforschung Voelkenrode, Sonderheft, 229-238

SCHWÄGELE, F., LUCKE, F.-K. & HONIKEL, K. (1990) Möglichkeiten der Verbesserung der Fleischqualität in der Praxis. Fleischwirtschaft 70, 731-743

SCOTT, K., CHENNELLS, D. J., CAMPBELL, F. M., HUNT, B., ARMSTRONG, D., TAYLOR, L., GILL, B. P. & EDWARDS, S. A. (2006) The welfare of finishing pigs in two contrasting housing systems: fully-slatted versus straw-bedded accommodation. Livestock Science 103, 104-115

SEIFERLE, E. & FREWEIN, J. (2004) Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia. In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere - Band I - Bewegungsapparat. 8. Aufl., Hrsg. J. FREWEIN, K.-H. WILLE, H. WILKENS, H. AUGSBURGER. Parey Verlag, Stuttgart, 273-569

SELBITZ, H. (2011a) Gattung *Mycoplasma*. In Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre. 9. Aufl., Hrsg. H. SELBITZ, U. TRUYEN, P. VALENTIN-WEIGAND. Enke Verlag, Stuttgart, 320-329

SELBITZ, H. (2011b) Grampositive, regelmäßige sporenlose Stäbchenbakterien. In: Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre. 9. Aufl., Hrsg. H. SELBITZ, U. TRUYEN, P. VALENTIN-WEIGAND. Enke Verlag, Stuttgart, 289-296

ŠEŠKEVIČIENĖ, J., MARTINAVIČIUS, V., RIMKEVIČIUS, S. & JEROCH, H. (2003) Einfluss von phytogenen Futterzusatzstoffen auf die Mast-und Schlachtleistung von Schweinen. Veterinarija ir Zootechnika 23, 96-98

SHAW, A. C. (1991) Serum C-reactive protein and neopterin concentrations in patients with viral or bacterial infection. Journal of Clinical Pathology 44, 596-599

SIDLER, X., EICHHORN, J., GEISER, V., BÜRGI, E., SCHÜPBA, G., OVERESCH, G., STEPHAN, R., SCHMITT, S., HÄSSIG, M. & SYDLER, T. (2015) Lungen- und Pleuraläsionen vor und nach der Flächensanierung gegen Enzootische Pneumonie und Actinobazillose sowie Organ- und Schlachtkörperveränderungen bei Schlachtschweinen in der Schweiz. Schweizer Archiv für Tierheilkunde 157, 665-673

SIELAFF, H. (1996) Fleischtechnologie. Behr`s Verlag, Hamburg

SIES, S. & MAHLAU, G. (1997) Das Image der Landwirtschaft: Ergebnisse von Assoziationstests, In: Arbeitsbericht Nr. 6. Hrsg. INSTITUT FÜR AGRARÖKONOMIE DER UNIVERSITÄT KIEL – LEHRSTUHL FÜR AGRARMARKETING. Universität Kiel, 71

SIPE, J. D., VOGEL, S. N., RYAN, J. L., MCADAM, K. P. & ROSENSTREICH, D. L. (1979) Detection of a mediator derived from endotoxin-stimulated macrohpages that induces the acute phase serum amyloid A response in mice. Journal of Experimental Medicine 150, 597-606

SKOPOS MARKET RESEARCH (2016) 1,3 Millionen Deutsche leben vegan. https://www.skopos.de/news/13-millionen-deutsche-leben-vegan.html. Letzter Zugriff: 14.12.2017

SMART, N. L., MINIATS, O. P., ROSENDAL, S. & FRIENDSHIP, R. M. (1989) Glaesser's disease and prevalence of subclinical infection with *Haemophilus parasuis* in swine in southern Ontario. The Canadian Veterinary Journal 30, 339-343

SMITH, J. L., FRATAMICO, P. M. & GUNTHER, N. W. (2007) Extraintestinal pathogenic *Escherichia coli*. Foodborne Pathogens and Disease 4, 134-163

SMITH, W. J. (1993) A study of adventitious bursitis of the hock of the pig. Dissertation, University of Edinburgh

SMITH, W. J. & MORGAN, M. (1994) Relationship between adventitious bursitis of the hock, breed and heritability. In 13. International Pig Veterinary Society Congress, Bangkok (Thailand)

SOERENSEN, V., JORSAL, S. E. & MOUSING, J. (2006) Diseases of the respiratory system. In: Diseases of Swine. 9. Aufl., Hrsg. B. E. STRAW, J. J. ZIMMERMANN, S. D`ALLAIRE, D. J. TAYLOR. Blackwell Publishing, Ames, 149-177

SPANDAU, P. (2016) Entwicklungsmöglichkeiten der Schweinehaltung in Deutschland unter veränderten gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen. Themen zur Tierernährung Fachtagung 2016/2017, Hodenhagen. 1-12

STEINHAUSEN, G. (1999) Untersuchungen zur ultraschallgeführten Lungenbiopsie beim Schwein. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München

STRAW, B. (1986) A look at the factors that contribute to the development of swine pneumonia. Veterinary Medicine (USA) 81, 747-756

STRAW, B. E., BACKSTROM, L. & LEMAN, A. D. (1986) Examination of swine at slaughter. II. Findings at slaughter and their significance. The Compendium on continuing education for the practicing Veterinarian (USA) 8, 106-112

STRAW, B. E., SHIN, S. J. & YEAGER, A. E. (1990) Effect of pneumonia on growth rate and feed efficiency of minimal disease pigs exposed to *Actinobacillus pleuropneumoniae* and *Mycoplasma hyopneumoniae*. Preventive Veterinary Medicine 9, 287-294

STROBEL, R. (2015) Strohschweine - Einfach natürlich. https://www.metzgerei-strobel.de/strohschweine/. Letzter Zugriff: 07.09.2018

SUNDRUM, A. (1998) Zur Beurteilung der Tiergerechtheit von Haltungsbedingungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Deutsche tierärztliche Wochenschrift 105, 65-72

SUNDRUM, A., EBKE, M. & RICHTER, U. (2004) Qualitätssicherung und Verbraucherschutz bei ökologisch erzeugtem Schweinefleisch (Projekt-Nr. 02 OE 453) - Schlussbericht. Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel

TEMPLE, D., COURBOULAY, V., MANTECA, X., VELARDE, A. & DALMAU, A. (2012a) The welfare of growing pigs in five different production systems: assessment of feeding and housing. Animal 6, 656-667

THIEMIG, F., H, B. & OELKER, P. (1997) Zur Problematik der PSE-Bestimmung bei Schweinefleisch. Fleischwirtschaft 77, 229-234

THUN, R. & SCHWARTZ-PORSCHE, D. (1994) Nebennierenrinde. In Veterinärmedizinische Endokrinologie 3. Hrsg. F. H. DÖCKE. Verlag Gustav Fischer, Stuttgart, 309-356

TILLETT, W. S. & FRANCIS, T. (1930) Serological reactions in pneumonia with a non-protein somatic fraction of pneumococcus. Journal of Experimental Medicine 52, 561-571

VALENTIN-WEIGAND, P. (2011) Grampositive Kokken. In Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre. 8. Aufl., Hrsg. H. SELBITZ, U. TRUYEN, P. VALENTIN-WEIGAND. Enke Verlag, Stuttgart, 256-270

VALLANT, A. (2004) Farbatlas Schlachttierkörper-Pathologie bei Rind und Schwein. Enke Verlag, Stuttgart

VAN DE PERRE, V., PERMENTIER, L., DE BIE, S., VERBEKE, G. & GEERS, R. (2010) Effect of unloading, lairage, pig handling, stunning and season on pH of pork. Meat Science 86, 931-937

VAN DER WAL, P. G. (1993) Scharrelschweine - Ihre Körperzusammensetzung und Fleischqualität. Züchtungskunde 65, 481-488

VAN DER WAL, P., REIMERT, H. & ENGEL, B. (2000) Stress unmittelbar vor der Betäubung: Auswirkung auf die Beschaffenheit von Schweinefleisch. Fleischwirtschaft 80, 91-93

VAN OECKEL, M. J., CASTEELS, M., WARNANTS, N., DE BOEVER, J. L., BOUCQUE, C. V. & BOSSCHAERTS, L. (1997) Instrumentelle Bestimmung von Merkmalen der Fleischbeschaffenheit belgischer Schweine. Fleischwirtschaft 77, 84-87

VELARDE, A., GISPERT, M., FAUCITANO, L., MANTECA, X. & DIESTRE, A. (2000) The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. Meat Science 55, 309-314

VELARDE, A., GISPERT, M., FAUCITANO, L., ALONSO, P., MANTECA, X. & DIESTRE, A. (2001) Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. Meat Science 58, 313-319

VERBAND DER FLEISCHWIRTSCHAFT E. V. (2016) Deutschland Schweinefleisch Versorgungsbilanz. http://www.v-d-f.de/zahlen_daten_fleischwirtschaft/deutschland/. Letzter Zugriff: 15.10.2017

VERBRAUCHERKOMMISSION BAYERN (2016) Gesellschaftlich akzeptierte Nutztierhaltung in Bayern - Stellungnahme und Empfehlungen der Verbraucherkommission Bayern.

VIÑUELA-FERNÁNDEZ, I., JONES, E., WELSH, E. M. & FLEETWOOD-WALKER, S. M. (2007) Pain mechanisms and their implication for the management of pain in farm and companion animals. The Veterinary Journal 174, 227-239

VOGT, C. (1996) Untersuchungen zur Vergleichbarkeit von Organbefunden am Schlachthof als Bewertungskriterium der Gesundheit von Schweinebeständen im Rahmen eines integrierten Qualitätssicherungssystems. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover

VON ALVENSLEBEN, R. (2002) Neue Wege in der Tierhaltung-Verbraucheransichten und Verbrauchereinsichten. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. - Schrift 408, 25-32

VON BORELL, E. H. (2001) The biology of stress and its application to livestock housing and transportation assessment. Journal of Animal Science 79, 260-267

VON WENZLAWOWICZ, M. (1994) Vergleichende Untersuchungen zur Fleischqualität beim Schwein mit Hilfe der pH-, Leitfähigkeits-und Farbhelligkeitsmessung (42-45 Minuten pm) mit besonderer Berücksichtigung von Vorbelastungen, des Schlachtgewichts und des Magerfleischanteils. Dissertation, Freie Universität Berlin

WÄHAUS, E. (1982) Transportverluste und Fleischqualitätsmängel beim Schwein in Abhängigkeit vom Wetter, Transportmittel und Fütterungszeitpunkt vor dem Transport. Dissertation, Freie Universität Berlin

WÄHNER, M. (2013) Bewertung von Schlachtkörpern. In: Schweinemast. 1. Aufl., Hrsg. S. HOY. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 29-40

WALLGREN, P., BESKOW, P., FELLSTRÖM, C. & RENSTRÖM, L. H. M. (1994) Porcine lung lesions at slaughter and their correlation to the incidence of infections by *Mycoplasma hyopneumoniae* and *Actinobacillus pleuropneumoniae* during the rearing period. Journal of Veterinary Medicine Series B 41, 441-452

WEISS, E. & RUDOLPH, R. (2007a) Alveoläre Herdpneumonien. In: Grundriss der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere. 6. Aufl., Hrsg. E. DAHME, E. WEISS. Enke Verlag, Stuttgart, 64-68

WEISS, E. & RUDOLPH, R. (2007b) Atmungsorgane. In Grundriss der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere. 6. Aufl., Hrsg. E. DAHME, E. WEISS. Stuttgart, Enke Verlag, 49-89

WELFARE QUALITY® (2009) Welfare Quality® assessment protocol for pigs. Hrsg. WELFARE QUALITY® CONSORTIUM, Animal Sciences Group Veehouderij BV, Lelystadt (Niederlande)

WELTE, T. (2010) Pneumonia - historical development, current status, future prospects. Pneumologie 64, 560-566

WENZ, K. (2016) Es ist noch nicht vorbei. In Fleischatlas 2016 - Deutschland regional. Hrsg. HEINRICH-BÖLL-STIFTUNG. Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland, Berlin, 10-11

WIELER, L. H., EWERS, C. & SELBITZ, H. (2011) Gramnegative fakultativ anaerobe Stäbchenbakterien. In Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre. 8. Aufl., Hrsg. H. SELBITZ, U. TRUYEN, P. VALENTIN-WEIGAND. Enke Verlag, Stuttgart

WILMS-SCHULZE KUMP, F. W. R. (2010) Untersuchung der Auswirkung infektiöser und nicht infektiöser Faktoren auf die Atemwegsgesundheit der Mastschweine und deren Schlachtkörper. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT AGRARPOLITIK BEIM BMEL (2015) Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung. Kurzfassung des Gutachtens. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin

WITTMANN, M., GERDEMANN, M., SCHEEDER, M., HANNEKEN, H., JAENECKE, D. & KREUZER, M. (1995) Zusammenhänge zwischen tierärztlichen Befunden und Schlachtkörper-bzw. Fleischqualität beim Schwein. Fleischwirtschaft 75, 492-495

WOLTERSDORF, W. & TRÖGER, K. (1987) Schlachttechnik zur Verringerung des PSE-Anteils beim Schwein. Fleischwirtschaft 67, 724-730

WUNDERLI, F. & LENZINGER, S. (1993) Makroskopische Lungenveränderungen beim Schlachtschwein. Swiss Vet 10, 7-10

YAGIHASHI, T., NUNOYA, T., MITUI, T. & TAJIMA, M. (1984) Effect of *Mycoplasma hyopneumoniae* infection on the development of *Haemophilus pleuropneumoniae* Pneumonia in pigs. The Japanese Journal of Veterinary Science 46, 705-713

YAMAMOTO, S., SHIDA, T., MIYAJI, S., SANTSUKA, H., FUJISE, H., MUKAWA, K., FURUKAWA, E., NAGAE, T. & NAIKI, M. (1993) Changes in serum C-reactive protein levels in dogs with various disorders and surgical traumas. Veterinary Research Communications 17, 85-93

ZENTNER, E., HUBER, G. & MÖSENBACHER-MOLTERER (2011) Emissionen aus der Tierhaltung (Rinder und Schweine) - Lüftungsfehler in der Praxis. In Tagungsband Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2011. Hrsg. LEHR- UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR LANDWIRTSCHAFT RAUMBERG-GUMPENSTEIN, 49-54

ZIMMERMAN, J. & KARRIKER, L. (2012) Behavior and Welfare. In Diseases of Swine. 10. Aufl., Hrsg. J. J. ZIMMERMANN, L. A. KARRIKER, A. RAMIREZ, K. J. SCHWARTZ, G. W. STEVENSON Wiley-Blackwell Publishing, Hoboken, 32-49

ZIMMERMANN, W. & PLONAIT, H. (1997) Erkrankungen des Atmungsapparates. In Lehrbuch der Schweinekrankheiten. Hrsg. H. PLONAIT, K. BICKHARDT. Parey Verlag, Berlin, 111-150

ZULOVICH, J. M. (2012) Effects of the environment on health. In Diseases of Swine. 10. Aufl., Hrsg. J. J. ZIMMERMANN, L. A. KARRIKER, A. RAMIREZ, K. J. SCHWARTZ, G. W. STEVENSON. Blackwell Publishing, Ames, 60-66

Verwendete Gesetze und Normen:

- Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung der Einhaltung von Hygienevorschriften für Lebensmittel und zum Verfahren zur Prüfung von Leitlinien für eine gute Verfahrenspraxis (AVV Lebensmittelhygiene - AVV LmH) in der Fassung vom 9. November 2009, zuletzt geändert durch die Verwaltungsvorschrift vom 20.10.2014 (BAnz AT 07.11.2014 B2). Deutschland

- Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland vom 23.05.1949, zuletzt geändert durch das Gesetz vom 13. Juli 2017 (BGBl. I S. 2347)

- Richtlinie 98/58/EG des Rates vom 20. Juli 1998 über den Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere (ABl. EG Nr. L 221 S. 23), geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 806/2003 des Rates vom 14. April 2003 (ABl. EU Nr. L 122 S 1)

- Richtlinie 91/629/EWG des Rates vom 19. November 1991 über Mindestanforderungen für den Schutz von Kälbern (ABl. EG Nr. L 340 S. 28), zuletzt geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 806/2003 des Rates vom 14. April 2003 (ABl. EU Nr. L 122 S 1)

- Richtlinie 1999/74/EG des Rates vom 19. Juli 1999 zur Festlegung von Mindestanforderungen zum Schutz von Legehennen (ABl. EG Nr. L 203 S. 53), zuletzt geändert durch die Richtlinie 2013/64/EU (ABl. L 353 vom 28.12.2013, S. 8)

- Richtlinie 91/630/EWG des Rates vom 19. November 1991 über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen (ABl. EG Nr. L 340 S. 33), geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 806/2003 des Rates vom 14. April 2003 (ABl. EU Nr. L 122 S 1)

- Richtlinie 2007/43/EG des Rates vom 28. Juni 2007 mit Mindestvorschriften zum Schutz von Masthühnern (ABl. L 182 vom 12.7.2007, S 19)

- Tierschutzgesetz vom 24.07.1972, in der Fassung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206, 1313), zuletzt geändert durch das Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626)

- Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Schweineschlachtkörper (Schweineschlachtkörper-Handelsklassenverordnung) vom 18.12.1986, in der Fassung vom 16. August 1990 (BGBl. I S. 1809), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 17. Juni 2014 (BGBl. I S. 793)

- Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung (Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung – TierSchNutztV) vom 25.10.2001, in der Fassung vom 22.08.2006 (BGBl. S. 2043), zuletzt geändert durch das Gesetz vom 30.06.2017 (BGBl. S. 2147)

- Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002 (ABl. L 300 vom 14.11.2009, S. 1–33), zuletzt geändert durch die Verordnung (EU) 2017/625 vom 15. März 2017 (ABl. L 95 vom 7.4.2017, S. 1–142).

- Verordnung (EG) Nr. 178/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2002 zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit

- Verordnung (EG) Nr. 852/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über Lebensmittelhygiene

- Verordnung (EG) Nr. 853/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 mit spezifischen Hygienevorschriften für Lebensmittel tierischen Ursprungs

- Verordnung (EG) Nr. 854/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 mit besonderen Verfahrensvorschriften für die amtliche Überwachung von zum menschlichen Verzehr bestimmten Erzeugnissen tierischen Ursprungs

- 1. Fleischgesetz-Durchführungsverordnung vom 12. November 2008 (BGBl. I S. 2186), zuletzt geändert durch die Verordnung vom 17. Juni 2014 (BGBl. I S. 793)

-

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Mastschweinebestände in Deutschland, Zahlen nach Destatis (2018b) 18

Abbildung 2: Strukturwandel der Schweinehaltung in Deutschland, Zahlen nach Destatis (2018b) 20

Abbildung 3: Haltungsplätze für Schweine nach Haltungsverfahren, Zahlen nach Destatis (2010) 21

Abbildung 4: Entwicklung der Schweinefleischproduktion in Deutschland, Zahlen nach Destatis (2018b) 21

Abbildung 5: Zeitlicher Ablauf der Probenahme....59

Abbildung 6: Arbeitsschritte der Ameisensäure-Extraktion nach Herstellerangaben (Bruker Daltonik GmbH)....70

Abbildung 7: Arbeitsschritte der DNA-Extraktion aus akzessorischen Schleimbeuteln mit dem QIAmp DNA Mini Kit nach Herstellerangaben (Qiagen, Hilden, Deutschland)....72

Abbildung 8: Arbeitsschritte der DNA-Extraktion aus Lungengewebe mit dem DNeasy® Blood & Tissue Kit nach Herstellerangaben (Qiagen, Hilden, Deutschland)....73

Abbildung 9: Arbeitsschritte des Pig CRP ELISA nach Herstellerangaben (Life Diagnostics, West Chester, USA) 76

Abbildung 10: Akzessorische Schleimbeutel unterschiedlichen Grades lateral an der rechten Vordergliedmaße, am linken Ellbogengelenk und am rechten Sprunggelenk eines Mastschweines am Schlacht-band 79

Abbildung 11: Prävalenz akzessorischer Schleimbeutel unterschiedlichen Grades in den verschiedenen Projektphasen bei Mastschweinen....80

Abbildung 12: Erscheinungsbild der verschiedenen Lungenbefundkategorien nach Anlage 3 AVV LmH bei Mastschweinen am Schlachtband 81

Abbildung 13: Prävalenzen pathologischer Lungenveränderungen mit unterschiedlichen Befundkategorien nach Anlage 3 AVV LmH in den verschiedenen Projektphasen 82

Abbildung 14: Datenlage bei der Beurteilung von Bursagrad und Lungenbefundkategorie 82

Abbildung 15: Lungenbefundkategorien und Bursagrade bei Mastschweinen 84

Abbildung 16: Schlachtgewichte bei Mastschweinen mit unterschiedlichen Bursagraden 85

Abbildung 17: Ergebnisse der pH_{45}-Messung bei Mastschweinen mit unterschiedlichen Lungenbefundkategorien....89

Abbildung 18: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von 45 akzessorischen Bursen (Gattungsebene) 93

Abbildung 19: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von 45 akzessorischen Bursen (Speziesebene).....94

Abbildung 20: Gesamtanzahl nachgewiesener Bakterien und Bursagrade.....96

Abbildung 21: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von 94 Lungen (Gattungsebene).....98

Abbildung 22: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von 94 Lungen (Speziesebene) 99

Abbildung 23: Gesamtanzahl nachgewiesener Bakterien und Lungenbefund-kategorien 101

Abbildung 24: Nachgewiesene Bakteriengruppen in Lungen und Bursen 102

Abbildung 25: Makroskopisches Erscheinungsbild akzessorischer Bursen ...106

Abbildung 26: Prävalenzen von Entzündungstypen bei 152 akzessorischen Schleimbeuteln.....106

Abbildung 27: Bursa vom reifen Typ (Schwein Nr. 85, Phase I).....107

Abbildung 28: Bursa vom floriden Typ (Schwein Nr. 91, Phase I).....108

Abbildung 29: Bursa vom Mischtyp (Schwein Nr. 92, Phase I) 109

Abbildung 30: Bursa vom Abszesstyp (Schwein Nr. 167, Phase I) 110

Abbildung 31: Prävalenzen von Entzündungstypen und Bursagrade 111

Abbildung 32: Gesamtanzahlen nachgewiesener Bakterien und Entzündungs-typen.....113

Abbildung 33: Ergebnisse der CRP-Messung und Ausprägungsgrade akzessorischer Schleimbeutel 116

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die „Fünf Freiheiten“ und dafür erforderliche Maßnahmen nach Farm Animal Welfare Council (1979).....14

Tabelle 2: Beurteilungskriterien zur Bewertung der Tiergerechtheit und des Tierwohls bei Mastschweinen nach Welfare Quality® (2009).....16

Tabelle 3: Literaturübersicht über die Ergebnisse mikrobiologischer Untersuchungen von akzessorischen Schleimbeuteln.....28

Tabelle 4: Entzündungstypen nach Papsthard (1989).....29

Tabelle 5: Begünstigende Faktoren für die Ausbildung akzessorischer Bursen.....31

Tabelle 6: Prävalenzen von akzessorischen Schleimbeuteln bei Schweinen.....32

Tabelle 7: Schema zur Bewertung von Lungenveränderungen nach Malitte (1974).....41

Tabelle 8: Schema zur Bewertung von Lungenveränderungen nach Ifip Institute Du Porc (2002).....41

Tabelle 9: Prävalenzen von am Schlachthof erfassten Lungenveränderungen.....43

Tabelle 10: Handelsklassen von Schweineschlachtkörpern nach SchwHKlV (Schlachtgewicht von 50 bis 120 kg).....49

Tabelle 11: Grenzwerte zur Beurteilung der Fleischqualität bei Schweinen anhand des pH-Wertes nach Schmitten et al. (1989).....50

Tabelle 12: Grenzwerte zur Beurteilung der Fleischqualität beim Schwein anhand der elektrischen Leitfähigkeit nach Schmitten et al. (1989).....51

Tabelle 13: Messmethoden und Grenzwerte zur Einschätzung der Fleisch-qualität, modifiziert nach Lengerken et al. (2007).....52

Tabelle 14: Übersicht über den Aufbau der beiden Projektphasen.....61

Tabelle 15: Boniturschema für akzessorische Bursen nach Gareis et al. (2016).....66

Tabelle 16: Schema zur Erfassung und Einteilung von Organbefunden beim Mastschwein aus Anlage 3 der AVV Lebensmittelhygiene.....66

Tabelle 17: Messparameter der MALDI-TOF Massenspektrometrie.....69

Tabelle 18: Kriterien für die Identifikation mittels MTB Compass 4.1 Software nach Herstellerangaben (Bruker Daltonik GmbH).....69

Tabelle 19: Reaktionsansatz (25µl) der Mykoplasmen-PCR.....74

Tabelle 20: Temperaturprogramm der Mykoplasmen-PCR.....74

Tabelle 21: Validierung und Interpretation der PCR nach Herstellerangaben (BioChek, Reeuwijk, Niederlande).....74

Tabelle 22: Einteilung akzessorischer Bursen nach Papsthard (1989).....75

Tabelle 23: Lungenbefundkategorien und Vorkommen akzessorischer Schleim-beutel bei Mastschweinen....83
Tabelle 24: Ergebnisse der Schlachtgewichtserfassung....84
Tabelle 25: Schlachtgewichte und Bursagrade bei Mastschweinen....85
Tabelle 26: Schlachtgewichte und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen....86
Tabelle 27: Ergebnisse der Messung des Muskelfleischanteils....86
Tabelle 28: Muskelfleischanteile und Bursagrade bei Mastschweinen....87
Tabelle 29: Muskelfleischanteile und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen....87
Tabelle 30: Ergebnisse der pH45-Messung im M. longissimus dorsi....88
Tabelle 31: pH_{45} im M. longissimus dorsi und Bursagrade bei Mastschweinen....88
Tabelle 32: pH_{45} im M. longissimus dorsi und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen....89
Tabelle 33: pH_{24} im M. longissimus dorsi und Bursagrade bei Mastschweinen....90
Tabelle 34: pH_{24} im M. longissimus und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen....90
Tabelle 35: Elektrische Leitfähigkeit im M. longissimus dorsi und Bursagrade bei Mastschweinen....91
Tabelle 36: Elektrische Leitfähigkeit im M. longissimus dorsi und Lungenbefundkategorien bei Mastschweinen....91
Tabelle 37: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung und Bursagrade....95
Tabelle 38: Anzahl nachgewiesener Bakterienspezies und Bursagrade....96
Tabelle 39: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung und Lungenbefundkategorien....100
Tabelle 40: Anzahl nachgewiesener Bakterienspezies und Lungenbefundkategorien....100
Tabelle 41: Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchung von akzessorischen Schleimbeuteln und Lungen....101
Tabelle 42: Zusammenhänge mikrobiologischer Parameter bei Lungen und akzessorischen Schleimbeuteln....102
Tabelle 43: Gleichzeitig in Lunge und Bursa auftretende Bakterienspezies und -kombinationen....102
Tabelle 44: Prävalenzen von Mykoplasmen in 141 untersuchten akzessorischen Schleimbeuteln....103
Tabelle 45: Prävalenzen von Mykoplasmen und Bursagrade....103
Tabelle 46: Entzündungstypen und mikrobiologische Untersuchungsparameter bei akzessorischen Schleimbeuteln (n=134)....112

Tabelle 47: Entzündungstypen und Anzahl nachgewiesener Bakterienspezies bei akzessorischen Schleimbeuteln 113

Tabelle 48: Entzündungstypen und Prävalenzen verschiedener Bakteriengruppen bei akzessorischen Schleimbeuteln 114

Tabelle 49: Entzündungstypen und Mykoplasmenprävalenzen bei akzessorischen Schleimbeuteln.....114

Tabelle 50: Ergebnisse der CRP-Messung 115

Tabelle 51: CRP-Serumkonzentrationen und Vorkommen akzessorischer Schleimbeutel.....115

Tabelle 52: CRP-Serumkonzentrationen und Ausprägungsgrade akzessorischer Schleimbeutel.....116

Tabelle 53: CRP-Serumkonzentrationen und Keimwachstum in akzessorischen Schleimbeuteln.....117

Tabelle 54: CRP-Serumkonzentration und mikrobiologische Parameter bei akzessorischen Schleimbeuteln.....117

Tabelle 55: CRP-Serumkonzentrationen und Vorkommen von Mykoplasmen in akzessorischen Schleimbeuteln 118

Tabelle 56: CRP-Serumkonzentrationen und Entzündungstypen bei akzessorischen Schleimbeuteln.....118

Tabelle 57: CRP-Serumkonzentrationen und Vorkommen pathologischer Lungenläsionen.....119

Tabelle 58: CRP-Serumkonzentrationen und Lungenbefundkategorien ..119

Tabelle 59: CRP-Serumkonzentrationen und Keimnachweis in den Lungen 120

Tabelle 60: CRP-Serumkonzentrationen und Keimanzahl in der Lunge ...120

Tabelle 61: CRP-Werte und mikrobiologische Parameter der Lungenproben 120

12 Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes „Technopathien der Gliedmaßen bei Mastschweinen: Ursachen – Entstehung – Tierschutzrelevanz“ (A/16/02) durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert. Für die finanzielle Unterstützung bedanke ich mich.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Manfred Gareis dafür bedanken, dass er mir diese Doktorarbeit ermöglicht, mich intensiv betreut und auch über die Dissertation hinaus unterstützt hat.

Auch bei Frau PD Dr. habil. Karin Schwaiger, Herrn Dr. Sebastian Ulrich und Frau Dr. Brigitte Sperner bedanke ich mich herzlich für ihre gute Betreuung, die fachliche Unterstützung und ihre hilfreichen Ratschläge.

Weiterhin gilt ein ganz großer Dank den technischen Assistentinnen des Lehrstuhls für Lebensmittelsicherheit, die mich stets geduldig in alle Arbeitsmethoden eingearbeitet haben und mich in großem Umfang bei der Gewinnung und Bearbeitung meiner Proben unterstützten. Hier möchte ich besonders Frau Barbara Fritz, Frau Verena Hohenester, Frau Johanna Dietz erwähnen.

Ebenso sehr danke ich meinen Kollegen Frau Dr. Felicitas Hammerschmidt, Frau Ulrike Kühn, Frau Hanna Wullinger-Reber, Herrn Florian Kaltner, Herrn Dr. Matthias Zimmermann, Frau Dr. Barbara Biermaier, Frau Dr. Susanne Schex, Frau Stefanie Rupp und Herrn Thomas Köhler. Sie haben nicht nur oft ihre eigene Arbeit zurückgestellt, um mir bei der Probengewinnung am Schlachthof unter die Arme zu greifen, sondern durch ihre nette Gesellschaft und die vielen lustigen gemeinsam verbrachten Stunden meine Doktorandenzeit zu einem Lebensabschnitt gemacht, der mir immer in guter Erinnerung bleiben wird.

Herrn Dr. Sven Reese danke ich für die hervorragende statistische Auswertung meiner Ergebnisse und die tollen Interpretationshilfen.

Für die Durchführung der histopathologischen Untersuchungen gilt mein Dank den beteiligten Mitarbeitern des TGD Bayern e.V. in Grub, besonders Herrn Dr. Benjamin Schade und Frau Dr. Brigitte Böhm.

Für die gute Zusammenarbeit möchte ich auch Frau Dr. Susanne Zöls und Frau Franziska Ostner von der Klinik für Schweine der LMU, Herrn Dr. Patzkewitsch, Frau Dr. Sandrina Klein und Frau Theresa Hergt vom Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung der LMU, Herrn Dr. Rudolph Eisenreich und Herrn Dirk Reinhard von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft und allen Mitarbeitern der beteiligten Schlachthöfe danken.

Mein größter Dank gilt zum Schluss meinen Eltern Hans und Evelyn, meinem Mann Michael sowie meiner Schwiegermutter Gertraud, die immer an mich geglaubt, mich motiviert und mir stets den Rücken frei gehalten haben.