

**Kontrolle des Entbluteerfolges bei der  
Schweineschlachtung im Hinblick auf Tierschutz  
und mögliche Auswirkungen auf Ausblutungsgrad  
und Fleischqualität**

Diane Meiler

2006

Aus dem Institut für Hygiene und Technologie der Lebensmittel tierischen  
Ursprungs  
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: Univ.-Prof. Dr. A. Stolle

Angefertigt an der  
Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel  
Standort Kulmbach  
Institut für Technologie  
Leiter: Dir. u. Prof. Prof. Dr. K. Troeger

---

**Kontrolle des Entbluteerfolges bei der Schweineschlachtung  
im Hinblick auf Tierschutz und mögliche Auswirkungen auf  
Ausblutungsgrad und Fleischqualität**

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

von  
Diane Meiler  
aus  
Hof

München  
2006

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. E. P. Märtlbauer

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. A. Stolle

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. K. Heinritzi

Tag der Promotion: 10. Februar 2006

Die Dissertation wurde im Rahmen eines Stipendiums  
der Tierärztlichen Vereinigung für Tierschutz e. V. gefördert

Meinen Eltern



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht</b> .....	<b>3</b>
2.1	Schlachtung und Tierschutz.....	3
2.1.1	Tierschutzrelevante Problemfelder bei der Betäubung und Entblutung.....	3
2.1.2	Tierschutzrechtliche Anforderungen an Betäubung und Entblutung.....	4
2.2	Elektrobetäubung.....	5
2.2.1	Grundlagen der Elektrobetäubung .....	5
2.2.2	Physiologischer Funktionsablauf.....	6
2.2.3	Cardiac-Arrest-Stunning.....	7
2.2.4	Methoden zur Bewertung der Betäubungswirkung .....	9
2.3	Entblutung.....	13
2.3.1	Physiologischer Funktionsablauf.....	14
2.3.2	Erfassung der Entbluteeffektivität .....	15
2.3.2.1	Reflexe und Reaktionen .....	15
2.3.2.2	Stichblutmenge .....	17
2.3.3	Gesamtblutvolumen und Stichblutmenge beim Schwein .....	18
2.3.4	Einflussfaktoren auf die Stichblutmenge .....	21
2.3.4.1	Betäubungsmethode.....	21
2.3.4.2	Entblutungsmethode.....	21
2.3.4.2.1	Entbluteposition .....	21
2.3.4.2.2	Stechtechnik .....	22

---

2.3.4.2.3	Betäubungs-Stech-Intervall .....	23
2.3.4.3	Individuelle Einflussfaktoren .....	23
2.3.5	Methoden zur Erfassung des Entblutungserfolges.....	24
2.4	Ausblutungsgrad .....	25
2.4.1	Auswirkungen auf die Fleischqualität.....	26
2.4.2	Restblutgehalt des Schlachttierkörpers.....	27
2.4.3	Methoden zur Erfassung des Ausblutungsgrades.....	28
2.4.3.1	Hilfsmethoden zur Bestimmung des Ausblutungsgrades....	29
2.4.3.1.1	Fließpapierprobe und Fließpapier-Plexiglas- kompressionsverfahren.....	29
2.4.3.1.2	Hämoglobin-Bestimmung mittels Haemometer nach Sahli .....	30
2.4.3.1.3	Hämoglobin-Auslaugprobe .....	31
2.4.3.1.4	Löfflerblau-Karbolfuchsin-Verfahren .....	31
2.4.3.1.5	Hämoglobin-Pseudoperoxidase-Probe mit Guajaktinktur ...	31
2.4.3.1.6	Natronlauge-Kochprobe.....	31
2.4.3.1.7	Hämoglobin-Gehaltsbestimmung nach Farbskala .....	32
2.4.3.1.8	Zylinder-Pressverfahren .....	32
2.4.3.1.9	Malachitgrün-Hämoglobin-Test.....	32
2.4.3.1.10	Ausblutungsindex .....	33
2.4.3.1.11	Erythrozyten-Zählverfahren .....	33
2.4.3.1.12	Mikroskopisches Nachweisverfahren.....	33
2.4.3.1.13	Hämoglobin-Diffusionstest.....	33
2.4.3.1.14	L*a*b*-Farbmessung mittels Chromameter .....	34
2.4.3.2	Spezifische Verfahren zur Hämoglobin-Bestimmung.....	34
2.4.3.2.1	Hämoglobin-Nachweis mittels indirekter Hämagglutination .....	34
2.4.3.2.2	Aussalzverfahren und weitere photometrische Nachweismethoden .....	35
2.4.3.2.3	Isotopendiagnostik.....	36
2.4.3.2.4	Elektrophorese.....	36

---

2.4.3.2.5	Isoelektrische Fokussierung .....	37
2.4.3.2.6	Gelchromatographische Verfahren .....	37
2.4.4	Einflussfaktoren auf den Ausblutungsgrad.....	39
2.4.4.1	Betäubungsmethode.....	39
2.4.4.2	Entblutungsmethode .....	40
2.4.4.2.1	Entbluteposition .....	40
2.4.4.2.2	Stechtechnik .....	41
2.4.4.2.3	Betäubungs-Stech-Intervall .....	41
2.4.4.2.4	Einfluss der Stichblutmenge .....	42
2.4.4.3	Individuelle Faktoren.....	42
2.5	Fleischqualität .....	43
2.5.1	Einfluss des Betäubungs- und Entblutungsverfahrens auf die Fleischqualität .....	44
2.5.2	Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp auf die Fleischqualität .....	45
2.5.2.1	Rasse .....	45
2.5.2.2	Malignes Hyperthermie Syndrom und PSE-Fleisch .....	45
2.5.2.2.1	Genetik .....	46
2.5.2.2.2	Pathophysiologie des Ryanodin-Rezeptors der quergestreiften Muskulatur.....	46
2.5.2.2.3	Nachweis des MHS-Gens.....	48
2.5.2.2.4	Verlaufsformen klinischer Erkrankungen bei MHS-positiven Schweinen .....	48
2.5.2.2.5	Zuchtziele .....	50
2.5.3	Eigenschaften von PSE- und DFD-Fleisch .....	51
2.5.4	Messverfahren zu Erfassung der Fleischqualität .....	52
2.5.4.1	pH-Wert und Muskelkerntemperatur.....	52
2.5.4.2	Elektrische Leitfähigkeit .....	53
2.5.4.3	Farbhelligkeit und L*a*b*-Farbwerte .....	53

<b>3</b>	<b>Eigene Untersuchungen</b> .....	<b>55</b>
3.1	Untersuchte Tiere und Methodik.....	55
3.1.1	Untersuchte Tiere .....	55
3.1.1.1	Rasse .....	55
3.1.1.2	MHS-Genotypen der Rasse Pietrain.....	56
3.1.2	Schlachtung .....	56
3.1.2.1	Zutrieb .....	56
3.1.2.2	Betäubung .....	57
3.1.2.2.1	Kombinierte Gehirn-Herz-Durchströmung .....	57
3.1.2.2.2	Alleinige Gehirn-Durchströmung.....	58
3.1.2.3	Entblutung .....	58
3.1.2.3.1	Personal .....	58
3.1.2.3.2	Sofortiger Blutentzug nach Betäubung .....	58
3.1.2.3.3	Verzögerter Blutentzug .....	59
3.1.2.4	Weitere Schlachtschritte .....	59
3.1.3	Untersuchungskriterien .....	60
3.1.3.1	Reaktionen während und nach der Betäubung.....	60
3.1.3.2	Reflexe und Reaktionen nach Entblutung.....	60
3.1.3.2.1	Hirnstammreflexe.....	60
3.1.3.2.2	Aktivität der Skelettmuskulatur.....	61
3.1.3.2.3	Vokalisation .....	61
3.1.3.3	Blutmenge .....	61
3.1.3.4	Ausblutungsgrad.....	62
3.1.3.4.1	Lebergewichte .....	62
3.1.3.4.2	Restblutgehalt der Muskulatur mit Hochdruckflüssigkeitschromatographie.....	62
3.1.3.5	Fleischqualität.....	65
3.1.3.5.1	pH- und Temperaturmessung .....	65

---

3.1.3.5.2	Messung der Leitfähigkeit.....	66
3.1.3.5.3	Messung der Farbhelligkeit und der L*a*b*-Werte.....	66
3.1.4	Versuchsgruppeneinteilung.....	67
3.1.4.1	Betäubungs-Stech-Intervall .....	67
3.1.4.2	Personaleinfluss .....	68
3.1.4.3	Betäubungsverfahren .....	68
3.1.5	Datenmanagement und statistische Verfahren .....	68
3.2	Ergebnisse .....	69
3.2.1	Tierschutzrelevante Beobachtungen.....	69
3.2.1.1	Während und nach der Betäubung .....	69
3.2.1.1.1	Kombinierte Gehirn-Herz-Durchströmung .....	69
3.2.1.1.2	Alleinige Gehirn-Durchströmung.....	70
3.2.1.2	Nach der Entblutung (Reflexe und Reaktionen).....	71
3.2.1.2.1	Hirnstammreflexe.....	72
3.2.1.2.2	Aktivität der Skelettmuskulatur.....	73
3.2.1.2.3	Vokalisation .....	73
3.2.2	Entblutungserfolg (Stichblutmenge) .....	74
3.2.2.1	Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls .....	74
3.2.2.2	Personaleinfluss .....	75
3.2.2.3	Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp.....	76
3.2.3	Ausblutungsgrad .....	77
3.2.3.1	Lebergewicht .....	77
3.2.3.1.1	Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls .....	77
3.2.3.1.2	Einfluss des Entbluteerfolges .....	77
3.2.3.1.3	Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp.....	78
3.2.3.2	Restblutgehalt der Muskulatur .....	80
3.2.3.2.1	Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls .....	80
3.2.3.2.2	Einfluss des Entbluteerfolges .....	80

---

3.2.3.2.3	Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp.....	81
3.2.4	Fleischqualität .....	82
3.2.4.1	pH-Wert, Muskelkerntemperatur und Leitfähigkeit.....	82
3.2.4.1.1	Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls .....	82
3.2.4.1.2	Einfluss des Entbluteerfolges .....	83
3.2.4.1.3	Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp.....	84
3.2.4.2	Fleischhelligkeits- und L*a*b*-Farbwerte .....	89
3.2.4.2.1	Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls .....	89
3.2.4.2.2	Einfluss des Entbluteerfolges .....	90
3.2.4.2.3	Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp.....	90
3.2.5	Zusammenhang zwischen relativer Stichblutmenge und dem Auftreten von Reflexen und Reaktionen.....	94
3.2.6	Beziehungen zwischen relativer Stichblutmenge, Ausblutungsgrad und Fleischqualität .....	96
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>98</b>
4.1	Versuchsbedingungen .....	98
4.2	Tierschutz .....	99
4.3	Stichblutmenge .....	105
4.4	Ausblutungsgrad .....	108
4.5	Fleischqualität .....	109
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>112</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>114</b>
<b>7</b>	<b>Summary.....</b>	<b>117</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>120</b>

## 1 Einleitung

Bei reversiblen Betäubungsverfahren, wie der CO<sub>2</sub>-Betäubung und der Elektrobetäubung ohne Auslösung von Herzkammerflimmern, erfolgt die Tötung der Schlachtschweine durch Blutentzug. Die Schwachstelle aus Sicht des Tierschutzes ist hierbei der lückenlose Übergang von der Betäubung in den Tod, der nur durch einen raschen und effektiven Blutentzug gewährleistet werden kann. Bei ungenügender Entblutung besteht die Gefahr des Wiedererwachens der Tiere im weiteren Verlauf der Schlachtung. Bei der industriellen Bandschlachtung gibt es keine Kontrolle der Entbluteeffektivität beim Einzeltier. Vorhandene Entblutekontrollsysteme bei Stechkarussellanlagen erwiesen sich als unzuverlässig. Für die handwerkliche Schlachtung ist eine „Prüfung auf Leblosigkeit“ nach erfolgter Entblutung beschrieben (BECHTOLD, 1950). Dazu wird mit dem Messergriff auf die Sehnen am Hinterfuß geschlagen, worauf das Tier keine Reaktion mehr zeigen darf.

Wie eine Stuserhebung bei 35 CO<sub>2</sub>-Anlagen in Deutschland (SCHÜTTE u. BOSTELMANN, 2001) ergeben hat, zeigten im Mittel 1 % (im Extremfall 14 %) der Tiere vor dem Brühltunnel noch Anzeichen für Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögen (Reflexe, Atmung, Vokalisation). Als Grund wurde neben einer mangelhaften Betäubung auch eine ungenügende Entblutung der Tiere angeführt und daraus die Forderung abgeleitet, ein Verfahren zur kontinuierlichen Kontrolle der Entbluteeffektivität zu entwickeln und in allen Schlachtbetrieben – unabhängig von der Betäubungsmethode – zu etablieren. Auch seitens einer englischen Forschergruppe (ANIL et al., 1997) wurde auf die Notwendigkeit hingewiesen, das Stechverfahren regelmäßig zu überwachen. Untersuchungen der Stichblutmengen innerhalb der ersten 10 Sekunden nach CO<sub>2</sub>-Betäubung von TROEGER et al. (2005) haben den erheblichen Einfluss des Blutverlusts auf

auf eine tierschutzgerechte Schlachtung bzw. ein mögliches Wiedererwachen der Tiere bestätigt.

Die Effektivität der Entblutung ist von zahlreichen Faktoren abhängig. So spielt die Betäubungsqualität eine entscheidende Rolle, da gut betäubte Tiere ruhiger liegen und somit der Entbluteschnitt leichter auszuführen ist. Die Qualifikation und Fertigkeit des die Entblutung durchführenden Mitarbeiters und die Ausführung des Entbluteschnittes haben ebenfalls Einfluss auf die Entbluteeffektivität. Durch Rotation des Personals an Schlachthöfen kommen bei diesem wichtigen und tierschutzrelevanten Prozessschritt häufig ungeübte Mitarbeiter zum Einsatz.

Es sollte die Auswirkung der Entbluteeffektivität bzw. der Stichblutmenge im Hinblick auf eine tierschutzkonforme Schlachtung, d. h. einen schnellen Eintritt des Todes der Tiere untersucht werden. Dazu wurden Reflexe und Reaktionen der Schweine auf der Nachentblutestrecke erfasst.

Über die Auswirkungen der Entbluteeffektivität auf den Ausblutungsgrad sowie auf die Fleischqualität ist relativ wenig bekannt. Deshalb sollten diese Zusammenhänge im Rahmen der eigenen Untersuchungen, nach Elektrobetäubung mit Herz-Durchströmung, ebenfalls geklärt werden.

Da es bei den heute immer häufiger zum Einsatz kommenden CO<sub>2</sub>-Backloader-Anlagen zu einem systembedingt zeitverzögerten Stechen der Tiere kommt, indem die Schweine gruppenweise zur gleichen Zeit die Betäubungsgondel verlassen, sollten zudem die Auswirkungen einer verzögerten Entblutung auf den Ausblutungsgrad und die Fleischqualität untersucht werden.

---

## **2 Literaturübersicht**

### **2.1 Schlachtung und Tierschutz**

#### **2.1.1 Tierschutzrelevante Problemfelder bei der Betäubung und Entblutung**

Bei der Betäubung und Entblutung von Schlachtschweinen kann es zu tierschutzrelevanten Fehlern kommen (BROCK, 1987; SCHWABENBAUER, 1989; TROEGER, 1996). Die Sachkunde des Personals spielt bei der Verwirklichung einer tierschutzgerechten Schlachtung eine wichtige Rolle (VON WENZLAWOWICZ et al., 1994; GRANDIN, 2001). Auch die European Food Safety Authority (N. N., 2004) weist auf diesen Tatbestand hin. Die Qualität des Entbluteschnittes und insbesondere das Zeitintervall zwischen Betäubung und Entblutung sind in höchstem Maße tierschutzrelevant (WOTTON und GREGORY, 1986; VON HOLLEBEN, 2004). Werden reversible Verfahren zur Betäubung eingesetzt und erfolgt der Entbluteschnitt nicht rechtzeitig, treten Anzeichen für eine Erholung der Tiere auf (HOENDERKEN, 1978; WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; TROEGER, 1996; ANIL et al., 1997; GRANDIN, 2001; N. N., 2004a; GREGORY, 2005). Bei CO<sub>2</sub>-Backloaderanlagen können die Zeitintervalle zwischen Auswurf aus der Betäubung und Beginn des Blutentzugs bis zu 75 Sekunden betragen (MOJE und SCHURR, 2003).

Die Aufmerksamkeit des zuständigen Mitarbeiters hinsichtlich der Effektivität der Entbluteschnitte sollte verbessert werden (ANIL et al., 2000). Die Schulung des Personals kann zur Gewährleistung der Entblutequalität beitragen (LAMBOOY, 1990; GRANDIN, 2001). Besonders bei ungenügend betäubten Tieren kommt dem Entbluter aus tierschützerischer Sicht eine besondere Verantwortung zu (VON WENZLAWOWICZ et al., 1998).

WOTTON (1996) wies nach, dass ein Wiedererwachen bei 6 % der Schweine durch inkorrekte Entblutestiche bedingt war. Nachdem die Stechtechnik des zuständigen Mitarbeiters verbessert wurde, zeigte kei-

nes der nachfolgenden 50 Schweine Anzeichen für eine Rückkehr der Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit.

Zur Gewährleistung einer tierschutzkonformen Schlachtung wird zunehmend eine kontinuierliche Überwachung des Entbluteverfahrens gefordert, um das Risiko eines Wiedererwachens der Tiere im weiteren Schlachtverlauf zu minimieren (ANIL et al., 1997; N. N., 2002a; TROEGER et al., 2005).

### **2.1.2 Tierschutzrechtliche Anforderungen an Betäubung und Entblutung**

Das Schlachten ist definiert als Töten durch Blutentzug (Fleischhygiene-gesetz, 2004b, § 4 Abs. 1).

Nach § 4a des Tierschutzgesetzes (2003) und der europäischen Richtlinie (N.N., 1993) über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Schlachtung oder Tötung darf ein warmblütiges Tier nur geschlachtet werden, wenn es vor Beginn des Blutentzugs betäubt worden ist. Das Betäuben ist so durchzuführen, dass die Tiere schnell und unter Vermeidung von Schmerzen und Leiden in einen bis zum Tod anhaltenden Zustand der Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit versetzt werden (Tierschutz-Schlachtverordnung, 2004d, § 13 Abs. 1).

Neben dieser allgemeinen Anforderung enthält die Tierschutz-Schlachtverordnung (N.N., 2004d) auch Detailregelungen für die Betäubung und Entblutung. So muss bei der Elektrobetäubung von Schweinen innerhalb der ersten Sekunde eine Stromstärke von 1,3 A erreicht werden, die - mit Ausnahme der Hochvoltbetäubung - 4 Sekunden lang gehalten werden muss. Bei der Elektrobetäubung mit Auslösen von Herzkammerflimmern muss das Gehirn entweder zuerst (asynchron) oder gleichzeitig (synchron) mit dem Körper durchströmt werden. Mit der Ausführung des Entbluteschnittes muss innerhalb von 10 Sekunden nach der elektrischen Betäubung begonnen werden. Die Entblutung muss am empfindungs- und wahrnehmungsunfähigen Tier stattfinden. Bei warmblütigen Tieren muss dafür gesorgt werden, dass durch Eröffnen mindestens einer Halsschlag-

ader oder des betreffenden Hauptblutgefäßes sofort ein starker Blutverlust eintritt. Die Entblutung muss kontrolliert werden können. Weitere Arbeiten am Schlachttierkörper dürfen erst dann stattfinden, wenn keine Bewegungen des Tieres mehr festzustellen sind.

## **2.2 Elektrobetäubung**

Wurden Tiere in früheren Zeiten mit einem Schlag auf den Kopf betäubt, diente dies vorrangig der Immobilisation der Tiere und somit der Arbeitssicherheit. Heute stehen primär Tierschutzaspekte im Vordergrund (GREGORY, 1985; KALLWEIT et al., 1989; TROEGER und WOLTERS-DORF, 1989a; MÄNNL, 1994).

### **2.2.1 Grundlagen der Elektrobetäubung**

ENGEL (1987) und BRIESE (1996) befassen sich ausführlich mit Technologie und Auswirkungen der elektrischen Betäubung auf physiologische Funktionsabläufe bei Schlachtschweinen. Die Anästhesie wird ab einer bestimmten Stromstärke, die das Gehirn durchfließt, ausgelöst und ist nicht von der angelegten Spannung abhängig (GREGORY, 1985; ANIL et al., 1997). Die Elektrobetäubung kann nur dann als akzeptabel gelten, wenn sofort ein epileptiformer Anfall mit Empfindungslosigkeit ausgelöst wird (VON MICKWITZ und LEACH, 1977; TROEGER und WOLTERS-DORF, 1989a; THIEMIG et al., 1997; N. N., 2004a). Hierzu muss innerhalb von einer Sekunde eine Mindeststromstärke von 1,25 A erreicht werden (HOENDERKEN, 1978). ANIL (1991) gibt an, dass bei optimaler Elektrodenposition, z. B. zwischen Ohrgrund und Auge, 0,41 A zur Erzeugung eines epileptiformen Anfalls ausreichen.

Der Stromverlauf wird durch den Potentialunterschied (Spannung) zwischen den Elektroden und dem Widerstand des Objekts beeinflusst (Ohmsches Gesetz). Bei Tieren wird die Situation jedoch etwas komplexer. Die zwischen den Elektroden fließende Strommenge wird von vielen Faktoren beeinflusst. Neben der Hautfeuchte, dem Hauttyp, der Fettschicht und dem Hydrationsniveau der Tiere spielen auch die Sauberkeit

und der Zustand der Betäubungselektroden für den Wechselstromwiderstand eine Rolle (ANIL et al., 1997). Der Stromweg wird auch durch die unterschiedlichen Widerstände verschiedener Körpergewebe beeinflusst (BIEGELMEIER, 1986).

### **2.2.2 Physiologischer Funktionsablauf**

Das Ziel einer effektiven Betäubung ist, das zu schlachtende Tier sofort in einen Zustand der Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit zu versetzen, damit der Entblutestich keine Schmerzen auslöst und kein Leiden der Tiere mit dem Sterbeprozess einhergeht. Das sofortige Auftreten eines epileptiformen Anfalls gilt als sicheres Zeichen für den Verlust von Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögen der Tiere (VON MICKWITZ und LEACH, 1977; HOENDERKEN, 1978; WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; BLACKMORE, 1989; TROEGER und WOLTERS-DORF, 1989a; BRIESE, 1996; THIEMIG et al., 1997; N. N., 2004a).

Durchfließt Strom mit ausreichender Stärke das Gehirn von Tieren, wird ein epileptiformer Anfall vom Typ „Grand Mal“ als Folge einer frequenzabhängigen Polarisierung aller Membranen der vom Strom durchflossenen Gewebe ausgelöst. Das Gehirnareal, in dem der epileptiforme Anfall ausgelöst wird, ist mit dem Thalamus, der auch als „Tor zum Bewusstsein“ bezeichnet wird, verbunden. Dadurch wird dessen Funktion als Sammel- und Umschaltstelle aller der Großhirnrinde zufließenden sensibel-sensorischen Erregungen ausgeschaltet (GREGORY, 1985; THIEMIG et al., 1997) .

Beim epileptischen Anfall werden zwei Phasen, die tonische, anschließend die klonische Phase, durchlaufen. Einige Autoren sprechen von zwei verschiedenen klonischen Phasen (GRANDIN, 2004; N. N., 2004a). Zu Beginn des Stromflusses versteift sich das Tier, die Atmung sistiert und die Augenposition ist fixiert. Der Kopf wird in den Nacken geworfen und die Hintergliedmaßen werden unter den Körper gezogen. Die Vordergliedmaßen, möglicherweise zu Beginn gebeugt, werden gewöhnlich aus-

gestreckt. Diese tonische Phase dauert in der Regel 10 bis 20 Sekunden. Die klonische Phase mit einer Dauer von etwa 15 bis 45 Sekunden schließt sich unmittelbar an und ist gekennzeichnet durch kick- und padelartige Bewegungen (WOTTON, 1995; ANIL et al., 1997; DALY, 2005).

Während der gesamten Dauer des Anfalls befinden sich die Tiere in einem Zustand von Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit, d. h. sie sind betäubt (GREGORY und WOTTON, 1984; MÄNNL, 1994; ANIL et al., 1997; DALY, 2005). HOENDERKEN (1978) gibt für die gesamte Dauer der Empfindungslosigkeit nach einer effektiven Elektrobetäubung einen Mittelwert von 66 Sekunden an, der anhand von Elektroencephalogrammen ermittelt werden konnte. SCHÜTT-ABRAHAM et al. (1983) ermittelten ebenfalls durch EEGs eine Zeitspanne von mindestens 50 Sekunden.

Werden reversible Verfahren zur Betäubung eingesetzt und erfolgt der Entbluteschnitt nicht rechtzeitig, treten nach dem Ende der klonischen Phase Anzeichen für eine Erholung der Tiere auf (HOENDERKEN, 1978; WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; ANIL et al., 1997; N. N., 2004a; GREGORY, 2005).

### **2.2.3 Cardiac-Arrest-Stunning**

Aus Sicht des Tierschutzes gilt dieses irreversible Betäubungsverfahren als optimal, da eine Rückkehr des Empfindungs- und Wahrnehmungsvmögens der Tiere meist ausgeschlossen werden kann (HOENDERKEN, 1978; WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; WOTTON und GREGORY, 1986; VON MICKWITZ und HEUKING, 1990; FEHRENBURG, 1991; WALTER, 1991; KIRCHNER, 1992; WOTTON et al., 1992; STEGEN, 1993; MÄNNL, 1994; N. N., 2002a; VON HOLLEBEN, 2004).

Im Anschluss an die Kopf-Durchströmung muss für mindestens drei Sekunden das Herz durchströmt werden, um Herzkammerflimmern zu erzeugen. Für die zuverlässige Erzeugung von Herzkammerflimmern muss Wechselstrom mit einer Frequenz im Bereich von 50 Hz verwendet werden (N. N., 2001; DALY, 2005). Die Herzelektrode wird im Thoraxbereich

in Herznähe angelegt, so dass das Herz in der Strombahn liegt. Der fließende Strom stört die Automatie des Herzens und verhindert die Reizbildung und -leitung, wobei der Sinusknoten als Herzschrittmacher ausgeschaltet wird (VON MICKWITZ et al., 1989; FEHRENBURG, 1991; WALTER, 1991). Die tachykarde Rhythmusstörung bedeutet hämodynamisch einen Kreislaufstillstand, der innerhalb weniger Minuten zu einer irreversiblen Schädigung des Gehirns aufgrund des Sauerstoffmangels führt (VON MICKWITZ et al., 1989; WAGNER, 1997). Innerhalb von etwa 20 Sekunden kommt es nach Erzeugung von Herzkammerflimmern zum Erlöschen spontaner Hirnaktivität (SCHÜTT-ABRAHAM, 1990). HOENDERKEN (1978) stellte eine Zeitspanne von 23 Sekunden bis zum Auftreten der isoelektrischen Linie im Elektrocorticogramm nach Auslösen von Herzkammerflimmern fest.

Wird die Herzelektrode zu spät angesetzt, d. h. wenn die Wirkung der Kopf-Durchströmung bereits wieder nachgelassen hat, werden die Tiere ausschließlich paralysiert und sterben an Herzversagen. Hierbei treten Schmerzsymptome wie Lautäußerungen auf (SCHÜTT-ABRAHAM, 1990; WALTER, 1991; GREGORY, 1998).

Bei der Cardiac-Arrest-Betäubung liegen die Tiere ruhiger, was zur Erhöhung der Arbeitssicherheit beim Personal führt und die Ausführung eines korrekten Entbluteschnittes erleichtert (DEMMLER, 1988; WALTER, 1991; WOTTON et al., 1992; FREITAG, 1994; WOTTON, 1995; ANIL et al., 2000). Die Unterdrückung der Krämpfe ist nicht auf den Herzstillstand zurückzuführen, sondern auf die Stimulation des Rückenmarks im thorakalen Bereich, wo sich inhibitorische Schaltkreise befinden (DALY, 2005).

Eine nachteilige Beeinflussung der Fleischqualität und des Ausblutungsgrades durch Cardiac-Arrest-Stunning wurde nicht festgestellt (WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; WALTER, 1991; KIRCHNER, 1992; MÄNNL, 1994). Dennoch gibt es fleischhygienerechtliche Vorbehalte, so dass von verschiedenen Autoren vorgeschlagen wurde, die Definition von Schlachten (Töten durch Blutentzug) zu ändern in

„Tötung in Verbindung mit Blutentzug“ (WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; TEXDORF und GAUDLITZ, 1990; WALTER, 1991).

#### **2.2.4 Methoden zur Bewertung der Betäubungswirkung**

Abhängig von der Betäubungsmethode und Tierart werden typische Verhaltensmuster und physikalische Reflexe ausgelöst, die zur Beurteilung der Betäubungseffektivität herangezogen werden (HOENDERKEN, 1978; N. N., 2004a). HOENDERKEN (1978) definierte eine effektive elektrische Betäubung durch das Auftreten eines generalisierten zerebralen Anfalls (GCA) innerhalb von einer Sekunde.

Zur Überprüfung der Betäubungseffektivität bedient man sich bestimmter Hirnstammreflexe (WYSS, 1985; FEHRENBURG, 1991; FREITAG, 1994; BRIESE, 1996; WOTTON, 1996; ANIL et al., 1997; REMIEN, 2001; ALCHINGER, 2003; HOFFMANN, 2003; MOJE und SCHURR, 2003; N. N., 2004a; GRANDIN, 2004; TROEGER et al., 2005). Hierzu zählen Korneal- und Lidreflex. Nach dem Hirnstamm erholen sich übergeordnete Gehirnzentren, auf die die Reaktion auf schmerzhafte Stimuli, z. B. die Auslösung des Nasenscheidewandreflexes durch Stich in das Septum nasi, hinweist (ANIL et al., 1997; TROEGER et al., 2005).

Die Rückkehr der Hirnstammfunktionen bei einem vorher betäubten Tier ist als Zeichen für eine baldige Wiedergewinnung von Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögen zu werten, aber nicht mit diesen gleichzusetzen. Kognitive und sensorische Fähigkeiten benötigen übergeordnete Gehirnzentren, die sich jedoch im Anschluss an den Hirnstamm erholen. Die Auslösung von Reaktionen auf schmerzhafte Stimuli ist erst nach einer Erholung des Hirnstammes möglich (ANIL et al., 1997; TROEGER et al., 2005).

Für die Beurteilung der Betäubungseffektivität sollten Augenreflexe und Reaktionen auf schmerzhafte Stimuli mit dem Auftreten rhythmischer Atmung verbunden werden. Zeichen einer unzureichenden Betäubung sind nach EFSA (N. N., 2004a) das Vorhandensein rhythmischer Atmung, kon-

trahierte Pupillen, Versuche, den Kopf zu heben, Vokalisation, positive Kornealreflexe und durch Schmerzreize auslösbare Reaktionen.

Das Auftreten **rhythmischer Atmung** mit voller In- und Expiration zeigt sich durch regelmäßige Bewegungen der Flanken oder durch feuchten Beschlag eines Spiegels, der vor die Rüsselscheibe gehalten wird (N. N., 2004a). Die Rückkehr rhythmischen Atmens ist der brauchbarste Indikator für ein Wiedererlangen der Wahrnehmungsfähigkeit, v. a. deshalb, weil es sofort nach dem Ende der epileptischen Aktivität wieder einsetzt (ANIL et al., 1997; GREGORY, 2005). Dieser Einschätzung schließt sich die EFSA (N. N., 2004a) an. ANIL (1991) wies nach, dass bei ausreichender Stromstärke mindestens 37 Sekunden bis zum Wiedereinsetzen rhythmischer Atmung vergehen.

Von der rhythmischen Atmung abzugrenzen ist die häufig zu beobachtende sogenannte Schnappatmung. Schnappatmung ist definiert als „langsame, von größeren Pausen unterbrochene Atmung bei Schädigung des Atemzentrums infolge zerebraler Hypoxie“ (N. N., 1998). Schnappatmung, die aus Zwerchfellkontraktionen ohne Ventilation der Lunge resultiert, ist nach SEFRIN (2005) ein sicheres Indiz für Bewusstlosigkeit. Nach GILBERT (1993) ist das Auftreten von Schnappatmung ein Hinweis auf den baldigen Gehirntod des Tieres. Somit kommt dem Auftreten von Schnappatmung auf der Nachentblutestrecke keine Tierschutzrelevanz zu.

Der **Kornealreflex** kann durch Berührung der Kornea mit der Fingerkuppe oder einem Gegenstand (z. B. Bleistift) ausgelöst werden. Kommt es dadurch zum Schließen des Augenlides, wird der Kornealreflex als positiv gewertet, d. h. der Hirnstamm ist aktiv. Bei Elektrobetäubung setzt der Kornealreflex kurz vor oder nach dem Auftreten der rhythmischen Atmung ein. Die Aussagekraft ist hierbei eingeschränkt, aber bei negativen Kornealreflexen ist davon auszugehen, dass das Tier ohne Empfinden ist. Der Kornealreflex ist im Allgemeinen der letzte Hirnstammreflex, der bei Verlust der Wahrnehmung oder dem Eintritt des Todes bei der Cardiac-Arrest-Betäubung verschwindet und der erste, der bei Erholung der Tiere

wieder auftritt. Bei der elektrischen Betäubung kehrt die rhythmische Atmung meist noch vor dem Kornealreflex zurück (N. N., 2004a).

Von einer Einbeziehung der Kornealreflexes in die Überprüfung der Betäubungseffektivität raten ANIL et al. (1997) ab, da dieser bei elektrisch betäubten Tieren schwer erkennbar und unzuverlässig ist. Auch TROEGER et al. (2005) weisen darauf hin, dass der Kornealreflex als Anzeichen für Hirnstammaktivität unzuverlässiger ist als die Rückkehr rhythmischer Atembewegungen. VON HOLLEBEN (2004) ist der Meinung, dass die Überprüfung von Reflexen am Auge oder Reaktionen auf Schmerzreize erst nach Abklingen des epileptiformen Anfalls etwa 50 bis 60 Sekunden nach Durchströmung Aussagekraft hat.

Findet keine Entblutung statt, kehrt der Kornealreflex nach 47-52 Sekunden zurück (ANIL, 1991). Bei Betäubungsströmen von 50 Hz (150 V/300 V) kehrt der Kornealreflex frühestens 24 Sekunden, eine Reaktion auf einen Schmerzreiz 38 Sekunden und der Aufstehreflex 41 Sekunden nach Stromflussende zurück. Bei hochfrequenten Strömen im Bereich von 1600 Hz verkürzen sich diese Zeiten etwa um 10 Sekunden (TROEGER, 1996).

Die Überprüfung der **Pupillenreaktion** mittels Lichtreiz kann ebenfalls Auskunft über den Zustand des Tieres geben. Vermindert sich der Durchmesser der Pupille bei Lichteinfall, ist das Tier noch am Leben (WYSS, 1985; N. N., 2004a). Bei Elektrobetäubung kommt es zur Dilatation der Pupille, die mit zunehmender Erholung der Tiere zurückgeht. Eine Fixation der Augen, die reflexlos sind, signalisiert Wahrnehmungslosigkeit der Tiere (N. N., 2004a).

Auch die **Reaktion auf schmerzhafte Stimuli** kann zur Bewertung der Betäubungseffektivität miteinbezogen werden. Bei positiver Reaktion ist davon auszugehen, dass das Tier bereits wieder wahrnehmungsfähig ist (ANIL et al., 1997). Der Nasenscheidewandreflex kann durch einen Stich mit einer Nadel in das Septum nasi oder durch Quetschung des Nasenseptums und der Rüsselscheibe (stumpfes Trauma) bei unzureichend betäubten Tieren ausgelöst werden. Die Tiere reagieren mit Zurückziehen des Kopfes, manchmal auch mit dem Stellreflex, d. h. sie sind in der Lage

ihren Kopf aufzurichten (BRIESE, 1996; N. N., 2004a). WYSS (1985) beurteilte die Betäubungseffektivität anhand der Abwehr- bzw. Schmerzreaktionen auf einen Hautschnitt am Kopf der Tiere.

Das Schütteln des Kopfes nach Berührung der Ohrmuschel kann ebenfalls Hinweise auf unzureichend betäubte Tiere geben. Auch die Überprüfung des Zwischenzehenreflexes ist ein geeignetes Mittel zur Bestimmung der Betäubungstiefe (N. N., 2004a).

Die Interpretation der **Aktivität der Skelettmuskulatur** ist schwierig, da es auch Leistungen des ZNS auf spinaler Ebene sein können, die ohne Schmerzwahrnehmung einhergehen (WOTTON, 1995; THIEMIG et al., 1997). Zudem können kickartige Bewegungen auch nach dem Gehirntod auftreten (GRANDIN, 2004).

Anzeichen für eine effektive elektrische Betäubung mit Auslösung von Herzkammerflimmern sind der sofortige Zusammenbruch der Tiere mit tonischen Krämpfen, gefolgt von einer kurzen Phase mit mehr oder weniger ausgeprägten klonischen Krämpfen mit paddel- oder kickartigen Bewegungen (Fight-and-Flight-Syndrom), gefolgt von Apnoe, dilatierten Pupillen, einem nicht auslösbaren oder nur kurz auftretenden Kornealreflex, Ausbleiben von Reaktionen auf schmerzhaft stimuli, einer völligen Entspannung des Tierkörpers sowie dem Fehlen des Pulses (THIEMIG et al., 1997; N. N., 2004a).

KRÜGER und HELLNER (1981) konnten bei 3 % der Schweine, die mit Gehirn-Herz-Durchströmung betäubt wurden, positive Kornealreflexe feststellen. FREITAG (1994) konnte zwar nach zusätzlicher Herz-Durchströmung signifikant weniger positive Hirnstammreflexe feststellen, jedoch zeigten noch 9,3 % der Tiere positive Kornealreflexe und 15,1 % Atembewegungen. Eine Möglichkeit der Rückkehr zum normalen Sinusrhythmus durch mechanische Induktion, wie z. B. dem harten Aufprall nach Fall aus der Betäubungsfalle sowie die spontane Rückkehr zu regulärer Herztätigkeit kann nicht ausgeschlossen werden (LAMBOOY, 1981; GREGORY, 1998). Nach Meinung von FEHRENBURG (1991) und

DEMMLER (1988) kann das flimmernde Herz nicht wieder in seine Automatie zurückfinden.

Um die Induktion von Herzkammerflimmern zu überprüfen wurden häufig Elektrokardiogramme aufgezeichnet (BLACKMORE, 1989; FEHRENBURG, 1991; WALTER, 1991; VON WENZLAWOWICZ et al., 1998; SCHÜTTE und BOSTELMANN, 2001). Auch beim Auftreten störender Artefakte, die durch die Konvulsionen der Schweine ausgelöst werden, erlaubt diese Methode einen sicheren Nachweis für das Vorhandensein von Herzkammerflimmern. FEHRENBURG (1991) stellt allerdings fest, dass bei 2 von 30 Tieren kein Herzkammerflimmern ausgelöst werden konnte. Auch eine Auskultation des Herzens kann bei Ausbleiben des Herzschlags auf eine erfolgreiche Betäubung hinweisen (BLACKMORE und NEWHOOK, 1981). Dies ist allerdings nur dann möglich, wenn der Geräuschpegel des Schlachthauses sehr niedrig ist (BLACKMORE, 1989).

Neben den aufgeführten Hirnstammreflexen gilt als letztes Zeichen der Erholung der Kopfbewegungsreflex, der einer völligen Erholung der Tiere vorangeht (ANIL et al., 1997). Der Stellreflex ist als Anzeichen einer völligen Erholung der Tiere anzusehen (N. N., 2004a).

### **2.3 Entblutung**

Mit der Entblutung soll das Schlachttier zum einen getötet werden, zum anderen kann Blut als Lebensmittel gewonnen werden. Ein sofortiger und effektiver Blutentzug wird von vielen Autoren zur Gewährleistung einer tierschutzkonformen Schlachtung gefordert (GREGORY, 1985; CHILDERS, 1987; BLACKMORE, 1989; ANIL et al., 1990; WOTTON, 1995; GREGORY, 1998; ANIL et al., 2000; SCHÜTTE und BOSTELMANN, 2001; N. N., 2001; MOJE und SCHURR, 2003; VON HOLLEBEN, 2004).

### 2.3.1 Physiologischer Funktionsablauf

Nach einem rasch und gut ausgeführten Entblutungsschnitt beim Schwein führt der schnelle Blutverlust zu einem steilen Abfall des Blutdrucks und bewirkt somit den Ausfall der Gehirnfunktion, bedingt durch die zerebrale Ischämie, mit nachfolgendem Tod des Tieres (BLACKMORE und NEWHOOK, 1981; WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; WOTTON, 1996; THIEMIG et al., 1997; ANIL et al., 1997; ANIL et al., 2000; N. N., 2001; N. N., 2004a).

Auch bei Elektrobetäubung mit Auslösen von Herzkammerflimmern wird der Entbluteschnitt, sofern er rechtzeitig erfolgt und eine ausreichende Gefäßöffnung bewirkt, als unmittelbare Todesursache angesehen (BLACKMORE, 1983; WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; VON HOLLEBEN, 2004). WOTTON und GREGORY (1986) konnten bei mit Halothan betäubten Schweinen, die durch einen thorakalen Bruststich geschlachtet oder durch Auslösen von Herzkammerflimmern getötet wurden, keine signifikanten zeitlichen Unterschiede bis zum Eintreten der isoelektrischen Linie im ECoG feststellen.

Zwischen dem Blutverlust pro Zeiteinheit und der Zeit bis zum Eintritt des Hirntodes durch Ischämie besteht ein Zusammenhang. Die Geschwindigkeit des Blutverlusts hängt u. a. von der Ausführung des Entbluteschnittes ab. WOTTON (1996) gibt an, dass es bei größeren Stichwunden zu einer höheren Blutflussrate kommt, die wiederum zu einem schnelleren Verlust des Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögens führt. Im Gegensatz zum Bruststich (chest stick) kann eine Durchtrennung von Jugularvenen und Vena cava die Entblutung verlangsamen und die Zeitspanne bis zur Unterbrechung der Blutzufuhr des Gehirns vergrößern (GREGORY, 1985). Innerhalb von 23 Sekunden nach Setzen des Entbluteschnittes mit Durchtrennung herznaher Gefäße kommt es zu einem grundlegenden Gehirnausfall (WOTTON und GREGORY, 1986; VON HOLLEBEN, 2004). Bis zum Erscheinen der isoelektrischen Linie im Elektrocorticogramm bei Schweinen ermittelten WOTTON und GREGORY (1986) nach einem Bruststich maximal 30 Sekunden. HOENDERKEN (1978) stellte unter der

Voraussetzung eines geübten Stechers eine Zeit von 12-20 Sekunden fest. Die EFSA (N. N., 2004a) stellt die Forderung eine Ausblutungszeit von mindestens 25 Sekunden einzuhalten. Die gesamte Entblutezeit bis zum Brühen sollte mindestens 3 Minuten betragen, um die Anforderungen an eine tierschutzgerechte Schlachtung zu erfüllen (TROEGER und WOLTERSDORF, 1989a).

Die Dauer des Zustandes der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit, der durch die Betäubung ausgelöst wird, muss immer mindestens so lange sein wie die Summe der Zeitintervalle zwischen Betäubungsende und Entbluteschnitt und zwischen Stechen und dem Eintritt des Todes durch den Blutverlust (CHILDERS, 1987; N. N., 2001; N. N., 2004a). Bezieht man die Zeit von 37 Sekunden bis zum Einsetzen rhythmischer Atmung nach reversibler Betäubung mit ein, ergibt sich zwischen Betäubung und Stechen ein maximal akzeptables Zeitintervall von 15 Sekunden, um einen lückenlosen Übergang von der Betäubung in den Tod zu gewährleisten (ANIL, 1991). TROEGER und WOLTERSDORF (1989b) halten ein Betäubungs-Stech-Intervall von 20 Sekunden für akzeptabel. VON HOLLEBEN (2004) gibt die optimale Zeitspanne mit 10 Sekunden an. Bei ANIL et al. (1997) führten übermäßig lange Zeitintervalle zwischen Betäubung und Stechen bei etwa 21 % der Tiere zur Rückkehr der Empfindungsfähigkeit mit Einsetzen rhythmischer Atmung.

### **2.3.2 Erfassung der Entbluteeffektivität**

#### **2.3.2.1 Reflexe und Reaktionen**

Bei mangelhafter Entbluteeffektivität oder verzögertem Blutentzug nach Anwendung reversibler Betäubungsverfahren ist mit einem Wiedererlangen der Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit bei den Tieren zu rechnen (HOENDERKEN, 1978; WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; TROEGER, 1996; WOTTON, 1996; ANIL et al., 1997; GRANDIN, 2001; N. N., 2004a; GREGORY, 2005). Die Überprüfung auf Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögen nach der Entblutung anhand von Reflexen erfolgt analog zur Beurteilung der Betäubungseffektivität

(SCHÜTTE und BOSTELMANN, 2001; TROEGER et al., 2005). Treten Symptome des Wiedererwachens erst 60 Sekunden nach Ende der elektrischen Durchströmung auf, ist die Entbluteeffektivität in Frage zu stellen (VON WENZLAWOWICZ et al., 1998).

Das Tier soll als lebend angesehen werden, bis ein irreversibler Kreislaufstillstand oder Ausfall der Gehirnfunktion eingetreten ist (N. N., 2004a). Der Gehirntod ist durch den Ausfall sämtlicher Hirnstammreflexe und den Verlust des Muskeltonus erkennbar. Der Ausfall der Herzaktivität sowie das Ausbleiben von Reaktionen auf schmerzhafte Stimuli allein sind kein sicheres Todeszeichen (N. N., 2001; N. N., 2004a).

BLACKMORE und NEWHOOK (1981) konnten allerdings auch bei nachweislich nicht vorhandener Gehirnaktivität, d. h. isoelektrischer Linie im EEG, noch Atemzüge und Vokalisation bei Schweinen feststellen.

Aus Sicht des Tierschutzes spielt der Gehirntod die entscheidende Rolle („The head must be dead“). Dadurch kommt es zum Verlust der Kontrolle über spinale Zentren. Dies kann zu verstärkten unkoordinierten motorischen Bewegungen führen (WOTTON, 1995; GRANDIN, 2004).

SCHÜTTE und BOSTELMANN (2001) konnten nach CO<sub>2</sub>-Betäubung bei 3 % der Tiere positive Kornealreflexe, bei 0,8 % koordinierte Augenbewegungen und bei 0,8 % regelmäßige Atmung 1 bis 3 Minuten nach der Entblutung feststellen. 0,7 % der Tiere zeigten durch Schmerzäußerungen, dass sie bereits wieder wach waren.

Die Zeit bis zu den ersten Anzeichen eines Wiedererwachens bei fehlender oder mangelhafter Entblutung ist von der Betäubungstiefe abhängig und beträgt ca. 30 Sekunden bis 3 Minuten, im Extremfall auch bis zu 6 ½ Minuten (HOLST, 1999).

Zur Überprüfung der Gehirnaktivität eignen sich nach WOTTON (1996) visuell evozierte Potentiale. Durch wiederholte Lichtblitze ins Auge wird die Netzhaut stimuliert und die ausgelösten Reaktionen können durch Elektroden, die auf der Sehrinde am Hinterhauptlappen des Gehirns plat-

ziert wurden, gemessen werden. Der Verlust dieser Reaktion geht mit einem irreversiblen Gehirnausfall einher.

Von TROEGER et al. (2005) wird zur (automatischen) Feststellung des Todes von Schlachttieren der Einsatz des in der Humanmedizin angewandten Pupillometers vorgeschlagen. Es wird zur Untersuchung bei Schädel-Hirn-Trauma-Patienten eingesetzt und gibt innerhalb einer Sekunde Auskunft über das Ausmaß der Verletzungen. Aus 2 bis 3 cm Abstand zum Auge werden Lichtblitze auf die Retina geschickt und anhand der mit einem Computerprogramm verarbeiteten Reaktionen der Pupille können Gehirnschädigungen bzw. der Gehirntod festgestellt werden (RANDERSON, 2004). Versuche bei Schlachttieren stehen hier allerdings noch aus.

Weitere Schlachtarbeiten an warmblütigen Tieren sollten für 3 Minuten nach dem Entbluteschnitt generell untersagt werden (TROEGER und WOLTERSDORF, 1989a; N. N., 2002a). Für im Einzelfall notwendige Nachbetäubungen im Bereich der Nachentblutestrecke sollte immer ein Bolzenschussgerät mit entsprechender Munition bereit gehalten werden (MOJE und SCHURR, 2003).

### **2.3.2.2 Stichblutmenge**

Über eine Messung der Stichblutmenge lässt sich die Entbluteeffektivität kontrollieren. Allerdings existieren bisher wenige Angaben über Mindestblutmengen pro Tier und Zeiteinheit, welche einen schnellen Eintritt des Todes garantieren (ANIL et al., 1997; N. N., 2002a; TROEGER et al., 2005).

Um ein Wiedererwachen der Tiere sicher ausschließen zu können, müssen einem Schwein mit einem Lebendgewicht von 100 kg 3 bis 4 Liter Blut innerhalb von 20 Sekunden entzogen werden (SCHÜTTE und BOSTELMANN, 2001). Bei Stichblutmengen unter 1,7 % des Lebendgewichts innerhalb der ersten 10 Sekunden der Entblutung besteht im Zusammenhang mit einer ungenügenden (CO<sub>2</sub>-)Betäubung die Möglichkeit des Wiedererwachens der Schweine auf der Nachentblutestrecke, unter

1,5 % ist diese Gefahr auch bei einer effektiven Betäubung gegeben. Über 1,75 % ist mit einer Rückkehr von Anzeichen für Empfindungsfähigkeit nicht mehr zu rechnen (TROEGER et al., 2005).

### 2.3.3 Gesamtblutvolumen und Stichblutmenge beim Schwein

SILBERNAGL und DESPOPOPOULOS (2003) geben für den Menschen ein Gesamtblutvolumen von 7 % der fettfreien Körpermasse an und stellen für die Berechnung folgende Gleichungen auf:

Männer:  $0,041 \times \text{kg Körpergewicht} + 1,53 = \text{Blutvolumen in Liter}$

Frauen:  $0,047 \times \text{kg Körpergewicht} + 0,86 = \text{Blutvolumen in Liter}$

Bei einem 100 kg-Schwein würde das einer Gesamtblutmenge von 5,63 bzw. 5,56 Litern entsprechen.

Beim Schwein entspricht die Gesamtblutmenge  $1/22$  der Körpermasse (SCHLENKRICH, 1989; MOJE, 1993). SUDAKOW (1990) gibt den Anteil mit  $1/20$  an. GREGORY (1998) geht von einem Blutanteil von 8 % des Lebendgewichts aus.

Die Stichblutmenge wird auf das Lebend- oder Schlachtgewicht bezogen und in Prozent angegeben (WARRISS, 1984). Nach TROEGER et al. (2005) kommt diesem Wert zur Beurteilung der Entbluteeffektivität die größte Bedeutung zu, da Absolutwerte keinen Bezug zum jeweiligen Tier liefern und solche Richtwerte für leichte Schweine zu hoch und für Sauen oder schwere Mastschweine zu niedrig angelegt wären.

Ein starker Blutschwall zu Beginn des Blutentzug wurde in früherer Zeit als Hinweis auf ein gesundes Tier angesehen, da man davon ausging, dass es bei kranken oder erschöpften Tiere zu einem verzögerten Blutaustritt kommt (WALTER, 1991). THIEMIG (1996) verweist darauf, dass Stoßblut, welches etwa die Hälfte des Blutmenge ausmacht, innerhalb von 7 bis 10 Sekunden mit einer Geschwindigkeit von 3 m/s austritt. Die Stoßblutausbeute beim Mastschwein (ca. 100 kg) beträgt etwa 3,0 bis 3,5 Liter (TROEGER, 2005). TROEGER et al. (2005) stellten fest, dass die Stoßblutmenge starken Schwankungen unterliegt. Innerhalb der ersten 10 Se-

kunden des Blutentzugs (im Hängen nach CO<sub>2</sub>-Betäubung) konnten sie Stichblutmengen zwischen 0,48 % und 3,19 % (arithmetischer Mittelwert: 1,75 %) des Lebendgewichts ermitteln. Nach SCHÜTTE und BOSTELMANN (2001) sollten innerhalb der ersten 20 Sekunden nach Setzen des Entbluteschnitts 3 bis 4 Liter aus der Stichwunde eines 100 kg-Schweines fließen. Diese Menge ist auch als ausreichend anzusehen, um ein Wiedererwachen bzw. ein Wiedererlangen von Schmerzempfinden bei den Tieren ausschließen zu können. SCHÜTTE (2000) fordert für ein Schwein mit einem Lebendgewicht von 100 kg einen Blutverlust von mindestens 4 Litern innerhalb der ersten 30 Sekunden. WARRISS und WILKINS (1987) weisen darauf hin, dass innerhalb von 30 Sekunden 70-80 % der entziehbaren Blutmenge gewonnen wird.

Der Blutverlust macht nach WARRISS (1984) 40-60 % der Gesamtblutmenge aus. GREGORY (1998) nimmt ebenfalls an, dass etwa die Hälfte der Gesamtblutmenge entziehbar ist. MOJE (1993) geht von einem Blutverlust von 65-75 % der Gesamtblutmenge aus. Das herausfließende Blut kommt aus Gefäßen bis zu einem Durchmesser von ca. 0,3 bis 0,6 mm. Bei kleineren Gefäßen ist nicht davon auszugehen, dass diese vollständig entleert werden (WARRISS, 1984).

Der Blutverlust errechnet sich nach WARRISS (1984) durch die Gleichung:

$$\text{Stichblutmenge (in g)} = 983 + 30,7 \times \text{Schlachtgewicht (in kg)}$$

Dies würde bei einem Schlachtgewicht von 80 kg einer gewinnbaren Blutmenge von 3,4 kg entsprechen.

Nach WARRISS und WOTTON (1981) verlieren Schweine 4,1 % ihres Lebend- bzw. 5,3 % ihres Schlachtgewichts durch die Entblutung. Über 50 % des Gesamtblutverlustes war innerhalb von 15 Sekunden erreicht, 95 % nach maximal 75 Sekunden. Innerhalb von 150 Sekunden konnte annähernd ein Wert von 100 % erreicht werden. Auch SWATLAND (1983) konnte eine durchschnittliche Stichblutmenge von 4,1 % des Lebendgewichts bei Schweinen feststellen. 25 % der Stichblutmenge gingen inner-

halb der ersten 5,7 ( $\pm$  4,8) Sek. verloren, nach 12,0 ( $\pm$  8,7) Sek. war die Hälfte des Blutverlustes erreicht, 75 % nach 28,2 ( $\pm$  22,3) Sek. und 100 % nach 102,2 ( $\pm$  62,0) Sek.. Der Autor weist darauf hin, dass zusätzliche Blutverluste während späterer Arbeitsschritte wie der Entfernung der Eingeweide zu erwarten sind. WARRISS und WOTTON (1981) stellten fest, dass bei den der Entblutung folgenden Bearbeitungsschritten ein zusätzlicher Blutverlust von etwa 158 g hinzukommt. Bei GISSKE und GLEES (1964) lag der ermittelte relative Blutverlust mit 3,83 % bei konventioneller Elektrobetäubung bzw. 2,90 % des Lebendgewichts bei Elektroschockbetäubung deutlich niedriger. BOJOVIC et al. (1992) konnten bei Mastschweinen einen durchschnittlichen Blutverlust von 3,44 % des Lebendgewichts feststellen. Der Blutverlust war in den ersten 15 Sekunden am stärksten, innerhalb von 45 Sekunden traten 95,37 % der Gesamtstichblutmenge aus. Mit zunehmendem Lebendgewicht nahm die Stichblutmenge ab. SUDAKOW (1990) konnte beim Schwein durchschnittliche Stichblutmengen von 3,5 % des Lebendgewichts erfassen (Tab. 2.1). Betäubungsmethode und Entblutungsverfahren hatten auf den Blutverlust großen Einfluss.

Tab. 2.1: Literaturangaben zu gewonnenen Stichblutmengen

Quelle	Stichblutmenge in % des Lebendgewichts
GISSKE und GLEES (1964)	3,83 (konventionelle Elektrobetäubung)
	2,90 (Elektroschockbetäubung)
WARRISS und WOTTON (1981)	4,1
SWATLAND (1983)	4,1
SUDAKOW (1990)	3,5
BOJOVIC et al. (1992)	3,44

## **2.3.4 Einflussfaktoren auf die Stichblutmenge**

### **2.3.4.1 Betäubungsmethode**

Eine gute Entblutung setzt eine ausreichend tiefe Betäubung voraus (TROEGER et al., 2005). ANIL et al. (1997) stellten fest, dass es durch heftige Kickbewegungen der Schweine nach elektrischer Betäubung zu unvollständiger Entblutung kam. Bei der Cardiac-Arrest-Betäubung ist keine negative Beeinflussung der Stichblutmenge beim Schwein zu erwarten (HOENDERKEN, 1978; CHRYSTALL et al., 1981; WARRISS und WOTTON, 1981; SWATLAND, 1983; WARRISS, 1984). Auch die Blutflussrate ändert sich dadurch nicht (WARRISS und WOTTON, 1981). Damit wurden frühere Thesen, dass ein schlagendes Herz notwendig ist, um das Blut aus dem Organismus herauszupumpen (GÖTZE, 1974), widerlegt. GREGORY (2005) schließt sich diesen Meinungen nicht an. Er macht die Cardiac-Arrest-Betäubung für eine verminderte Blutflussrate und geringere Stichblutmenge verantwortlich.

### **2.3.4.2 Entblutungsmethode**

#### **2.3.4.2.1 Entbluteposition**

Die Entbluteposition hat Einfluss auf die Blutflussrate sowie die Stichblutmenge (GREGORY, 2005). KARSCH (1997) stellte fest, dass bei Jungbullen bei der Entblutung im Hängen innerhalb von zwei bis drei Minuten mehr Blut (3,58 % des Lebendgewichts) aufgefangen werden konnte als bei Liegendentblutung (3,13 % des Lebendgewichts). Auch BORZUTA (1971) konnte bei Schweinen bei der Entblutung im Hängen einen größeren Blutverlust als bei Liegendentblutung nachweisen. Zu diesen Ergebnissen kommt auch SCHLENKRICH (1989), der den Blutverlust bei Entblutung im Hängen mit 75-77 %, bei Liegendentblutung mit 65-70 % der Gesamtblutmenge angibt. THIEMIG (1996) gibt an, dass bei horizontaler Entblutung mit einer längeren Entblutezeit von 90-100 Sekunden zu rechnen ist, im Gegensatz zur vertikalen Position, bei der nur ca. 38-40 Sekunden für die Entblutung benötigt werden. Der Autor erwähnt zudem,

dass bei der Hängendentblutung ein Rückstau des Blutes vermieden werden kann.

#### 2.3.4.2.2 Stechtechnik

Die Durchführung des Entbluteschnittes hat maßgeblichen Einfluss auf den Entblutungserfolg. Nach GREGORY (2005) kommt es darauf an, welche Blutgefäße durchtrennt werden, sowie auf die Länge und Durchgängigkeit des Entbluteschnittes. Eine kleine Stichwunde („Metzgergeiz“) führt zu verlangsamer und unvollständiger Entblutung (ANIL et al., 1997; ANIL et al., 2000; VON HOLLEBEN, 2004). Die Entbluteeffektivität ist deutlich personenabhängig (SCHLENKRICH, 1989; ANIL et al., 1997; TROEGER et al., 2005). Auch der Einsatz unterschiedlicher Messer – normales Messer und Hohlmesser – können die Stecher vor Probleme stellen. TROEGER et al. (2005) betonen die Notwendigkeit von Ausbildung und Befähigungsnachweisen für Stecher. THIEMIG (1996) gibt an, dass bei Ausführung eines korrekten Bruststichs mit Durchtrennung von Truncus brachiocephalicus und Arteria subclavia sinistra kurz über ihrer Abzweigung vom Aortenbogen, das aus den Gefäßen herausgedrückte Blut nur nach außen wegfließen kann. Eine unsachgemäße Ausführung verringert die Blutmenge und führt zu einer Verlängerung der Entblutezeit. TROEGER (2005) weist darauf hin, dass die Stechtechnik bei hängender und liegender Entblutung unterschiedlich ist. Im Gegensatz zu der von THIEMIG (1996) beschriebenen Technik, werden bei der Liegendentblutung die großen Halsgefäße mit einem Querschnitt eröffnet. Die Umstellung bei Neuinstallation von Anlagen bereitet dem Schlachthofpersonal häufig Schwierigkeiten. Die Stechtechnik bzw. die Geschicklichkeit des Stechers hatten auch bei Untersuchungen von KARSCH (1997) Einfluss auf den Entblutungserfolg. In Abhängigkeit davon, welche Gefäße durchtrennt werden, fällt der Blutdruck mehr oder weniger rasch ab, wenn die Wände der Arterien dem Druck nicht mehr standhalten. Das ist der Grund, wieso das Blut in einem kontinuierlichen Strahl herausfließt und nicht stoßweise, wie es aufgrund der Pumpfunktion des Herzens zu vermuten wäre (THORNTON, 1968). Von KIRTON et al. (1981) wird die Zeitspanne

vom Stechen bis zum völligen Verlust des Blutdrucks in der A. femoralis bei Lämmern mit 15 bis 100 Sekunden angegeben. Bei Durchtrennung der arteriellen Seite (A. carotis) führt der erniedrigte Blutdruck umgehend zum Kreislaufzusammenbruch, die venöse Seite wird dabei nicht vollständig entblutet. Nach SILBERNAGL und DESPOPOULOS (2003) befindet sich 80 % der Gesamtblutmenge im Niederdrucksystem, d. h. in den Venen. Die Entblutung auf der venösen Seite des Kreislaufs (V. jugularis, V. cava cran.) führt zur Blutdrucksenkung, der Kreislauf kommt verzögert zum Stillstand, die arterielle Seite enthält nach wie vor Blut. Bei beidseitiger Durchtrennung der Gefäße kommt es zu einem raschen Blutdruckabfall, der Abfluss von venösem als auch von arteriellem Blut ist hierbei gewährleistet (KIRTON et al., 1981).

#### 2.3.4.2.3 Betäubungs-Stech-Intervall

Bei einer verzögerten Entblutung nach 3 oder 6 Minuten konnten WILLIAMS et al. (1981) eine Abnahme des Blutverlustes bei Rindern feststellen. STOLLE und REUTER (1981) ermittelten die Stichblutmenge bei transporttoten Schweinen 20 bis 80 Minuten bzw. 2 bis 10 Stunden nach dem Auffinden. Sie teilten die Schweine in Gruppen nach ihrer Schinkenkerntemperatur ein, von der die Stichblutmenge abhängig war. Bei höherer Kerntemperatur, d. h. wenn der Todeszeitpunkt der Tiere noch nicht allzu lange zurücklag, konnten die größeren Stichblutmengen gemessen werden. Die Gruppe mit der höchsten Kerntemperatur hatte einen durchschnittlichen Blutverlust von 1,79 Liter im Vergleich zu der Gruppe mit der niedrigsten Temperatur des Schinkens mit 0,8 Liter.

#### 2.3.4.3 Individuelle Einflussfaktoren

Unterschiede in der gewinnbaren Blutmenge ergeben sich aus Alter und Mastgrad der Tiere (SCHLENKRICH, 1989; SUDAKOW, 1990). Bei kranken oder bereits toten Tieren ist ein geringerer Blutverlust zu erwarten (WARRISS, 1984). BOJOVIC et al. (1992) konnten bei Schweinen, die eine Ausruhezeit von bis zu 12 Stunden erhielten, eine um 9,1 % höhere Stichblutmenge messen als bei Tieren, die direkt im Anschluss an den

Transport geschlachtet wurden. Zudem war bei ausgeruhten Tieren der Blutfluss innerhalb der ersten 15 Sekunden stärker.

Der Einfluss des Geschlechts führt zu Unterschieden in der gewinnbaren Blutmenge (SCHLENKRICH, 1989). KARSCH (1997) konnte bei weiblichen Rindern sowohl bei der Hängend- als auch bei der Liegendentblutung einen höheren relativen Blutverlust messen als bei Jungbullen. Bei BOJOVIC et al. (1992) war die ermittelte Stichblutmenge bei weiblichen Mastschweinen ca. 7,5 % höher als bei Kastraten. Ebenso beeinflusst die Rasse die gewinnbare Blutmenge (SUDAKOW, 1990).

### **2.3.5 Methoden zur Erfassung des Entblutungserfolges**

Derzeit existiert keine für den Routinebetrieb geeignete Methode zur Erfassung der individuellen Stichblutmenge. Zwar werden seit 1996 bei RotaStick Stechkarussell-Anlagen der Fa. Anitec, Schweden, Entblutkontrollsysteme als standardmäßige Ausrüstung mitgeliefert (SJÖBERG, 2005), diese kommen jedoch häufig nicht zum Einsatz. Diese Systeme sichern durch einen Kontrollpunkt, dass vor Herausziehen des Hohlmessers eine ausreichende Menge Stichblut (2,5 Liter in 20 Sekunden) in Behältern aufgefangen werden konnte. Wird diese Menge nicht erreicht, ertönt ein optisches oder akustisches Signal, dass durch Drücken einer Taste durch den Stecher wieder gelöscht werden kann. Die Kontrolle der Blutmenge erfolgt ohne Einbeziehung des Lebendgewichts beim Einzeltier. Dieses Entblutkontrollsystem wird jedoch wenig als solches genutzt, da ungenügend entblutete Schweine nachgestochen werden müssten und dafür das Schlachtband angehalten oder ein zusätzlicher Mitarbeiter eingesetzt werden muss (VON WENZLAWOWICZ, 2005).

Bei TROEGER et al. (2005) wurde zur Erfassung der Stichblutmenge innerhalb der ersten 10 Sekunden des Blutentzugs ein Prototyp einer Stichblutauffang- und Wiegeeinrichtung eingesetzt. Eine aus Edelstahl gefertigte Stichblutwaage, bestehend aus zwei runden Blutvorratsbehältern mit einem Volumen von je 70 Litern, wurde auf Wägezellen gelagert. Zwei Hohlmesser standen über Schläuche mit den Blutbehältnissen in Verbin-

dung. Zudem wurden ein Wägeterminal mit Tastatur und Display sowie Wägesoftware zur Ermittlung des Blutgewichts pro Einzeltier und Zeiteinheit mit Eingabemöglichkeit für Kategorie (Ferkel, Mastschwein etc.), Lebendgewicht (zur Ermittlung der Stichblutmenge in % des Lebendgewichts) und Vorgabe der Bluterfassungszeit mit Signalton am Ende verwendet. Die Ermittlung des Lebendgewichts (LG) erfolgte rechnerisch aus Schlachtgewicht (SG) und mittlerer Schlachtausbeute (A) nach der Formel:  $LG = (SG \times 100) / A$ .

SCHÜTTE und BOSTELMANN (2001) weisen in ihrem Forschungsbericht darauf hin, dass bezüglich der kontinuierlichen Überwachung der Stichblutmenge weiterhin Handlungsbedarf besteht, da kein praxistaugliches Messverfahren oder –gerät zur Verfügung steht.

## **2.4 Ausblutungsgrad**

BÜNNIG (1968) definiert den Ausblutungsgrad als Maßstab für die Menge an Blut, die in einem Schlachtkörper nach Beendigung des Schlachtprozesses zurückgeblieben ist. Diese Definition wird auch von GEROLD und STOLLE (1994) übernommen. Auch HEINZ et al. (1972) geben die Differenz zwischen dem Gesamtblutvolumen eines Schlachttieres und der bei der Entblutung gewonnenen Stichblutmenge als Maß für den Ausblutungsgrad an. Nach MOJE (1993) und HEINZ et al. (1972) ist der Ausblutungsgrad definiert als das Verhältnis von Gesamtblutvolumen des lebenden Tieres zu dem durch die Entblutung entzogenen Anteil des Blutes. STOLLE und PAULICK (1990) geben für die Quantifizierung des Ausblutungsgrades zwei Parameter an: die Menge des Stichblutes in Prozent des Lebend- oder Schlachtkörpergewichts und den Residualblutgehalt der Muskulatur. TROEGER et al. (2004) verwenden zusätzlich zum Restblutgehalt großer Schultergefäße den Quotienten aus Lebergewicht warm und Schlachtgewicht warm (in %) als Maß für den Ausblutungsgrad. Im folgenden wird unter Ausblutungsgrad das noch im Schlachttierkörper verbliebene Restblut verstanden.

### 2.4.1 Auswirkungen auf die Fleischqualität

Einer effektiven und möglichst vollständigen Entblutung wird von jeher – speziell in den Schlachtvorschriften des Judentums und des Islams – große Bedeutung zugemessen (TROEGER, 2005). BOJOVIC et al. (1992) weisen dem Ausblutungsgrad, noch vor allen anderen Faktoren, den wichtigsten Einfluss auf die Fleischqualität zu. Schlecht ausgeblutetes Fleisch ist nach der Fleischhygiene-Verordnung (N.N., 2004c) als untauglich zu beurteilen. SCHÖNBERG und ZIETSCHMANN (1958) geben zur Überprüfung des Ausblutungsgrades folgende Kriterien an: Grobsinnliche Prüfung des Fleisches auf Farbe und Festigkeit, Füllung der Gefäße (Unterhaut, Brust- und Bauchfell), Freiwerden von Blut auf Druck und Prüfung des Blutgehaltes in der Knochensubstanz und im Knochenmark, im Herzen und in übrigen Organen, besonders in der Leber.

Nach BEUTLING und HAHLOWEG (1981) ist die gründliche Ausblutung des Schlachtkörpers von wesentlicher Bedeutung für die Haltbarkeit des Fleisches. Die Autorinnen führen an, dass mangelhafte Entblutung zu Fehlern in der Fleischreifung führt. Auch OGIELSKI und WARTENBERG (1961) stellten bei schlecht ausgebluteter Muskulatur einen verlangsamten Glykogenabbau fest. Der durch die Alkalität des Blutes verursachte ungenügende Abfall des pH-Werts mit mangelhafter Fleischsäuerung schafft in Zusammenhang mit einer vermehrten Wässrigkeit des Fleisches ein optimales Milieu für Keime (GÖTZE, 1974). Nach HESS (1968) fördert das im Gewebe verbliebene Blut die bakterielle Zersetzung und den enzymatischen Abbau. Indirekt bewirkt auch der flüssige Anteil des Blutes Farbveränderungen als Folge einer Veränderung der Konsistenz des Fleisches (MOJE, 1993). Durch die Blutfarbstoffe soll zudem die Oxidation des Fettes katalysiert werden (OGIELSKI und WARTENBERG, 1959). WARRISS (1984) führt einen schlechten Ausblutungsgrad auch als ästhetisch unerwünscht an. SCHLENKRICH (1989) stellt fest, dass ungenügend ausgeblutete Muskulatur und Innereien in ihrer Verwendbarkeit, ihrem Genusswert und ihren Verarbeitungseigenschaften qualitativ minderwertig sind. In neueren Untersuchungen an Schweinen weist SZKUCIK (2000) nach,

dass Fleisch von mangelhaft entbluteten Tieren weniger Farbe und Aroma hat, zudem ist es im Vergleich zu gut ausgebluteten Tieren mit höheren Ammoniakgehalten und Bakterienzahlen belastet. Dadurch wird die Haltbarkeit des Fleisches deutlich reduziert.

Der dargestellte Zusammenhang zwischen Ausblutungsgrad und Fleischqualität konnte in der Vergangenheit jedoch nicht von allen Untersuchern gefunden werden (WARRISS, 1977; CHRYSTALL et al., 1981). Dies wird gestützt durch die Tatsache, dass Blut gesunder Schlachttiere als steril gilt und antimikrobielle Eigenschaften besitzt (CYBULSKA und JELJASZEWICZ, 1966). WORMUTH und BULLING (1982) vertraten die Auffassung, dass ein höherer Restblutgehalt weder die Reifung noch Haltbarkeit des Fleisches negativ beeinflusst. Bei Rehfleisch konnte DIELSCHNEIDER (1985) keine Beeinflussung des pH-Wertes durch den Ausblutungsgrad feststellen.

#### **2.4.2 Restblutgehalt des Schlachttierkörpers**

SCHÖNBERG und ZIETSCHMANN (1958) weisen darauf hin, dass zur Feststellung des Ausblutungsgrades das Hauptaugenmerk auf den Restblutgehalt der Muskulatur gelegt werden muss. In vivo befindet sich bei gesunden Tieren 1/3 der Gesamtblutmasse in Milz, Leber und inneren Organen, der Blutgehalt der Muskulatur ist vom Erregungszustand vor der Schlachtung abhängig (SCHLENKRICH, 1989). Bei gestressten Tieren kommt es zu einer vermehrten Durchblutung der Muskulatur. Der Autor gibt an, dass bei Tieren, die im Liegen entblutet wurden, sich noch etwa 30-35 % der Gesamtblutmenge im Schlachtkörper befinden, bei hängender Entblutung 25-27 %. Nach GÖTZE (1968) enthält die Muskulatur, die etwa 40 % des Körpergewichts eines Tieres ausmacht, in vivo 3-6 % der vorhandenen Gesamtblutmenge. WARRISS und RHODES (1977) kamen zu dem Schluss, dass bei Bullen 1,1-4,3 % der Gesamtblutmenge in der Muskulatur verbleibt, bei herkömmlichem, beim Metzger erhältlichen Fleisch durchschnittlich ca. 0,3 %. SUDAKOW (1990) stellte fest, dass sich die Gesamtblutmenge beim lebenden Tier zu 40,4 % in Muskeln und zu 12,8 % in der Leber verteilt.

Nach MOJE (1993) ist damit zu rechnen, dass 25-35 % der Gesamtblutmenge im Schlachttierkörper verbleibt. Der größte Teil des Blutes, welches nicht durch den Entbluteprozess verloren geht, verbleibt in inneren Organen, insbesondere in Herz, Lunge, Leber und Milz (WARRISS, 1984). WARRISS (1977) gibt den Anteil mit 20-25 % an, in der Muskulatur verbleiben nicht mehr als 10 %. WARRISS und RHODES (1977) ermittelten einen Blutgehalt von 0,3 %, bezogen auf das Frischfleischgewicht bei Rindern. Dieselben Autoren geben einen Hämoglobingehalt von 0,2-1 mg/g Fleisch an. Der Restblutgehalt der Muskulatur wird von WARRISS (1984) mit 2 bis 9 ml/kg Muskelfleisch angegeben.

Bei den inneren Organen soll besonders die Leber nach SCHÖNBERG und ZIETSCHMANN (1958) Aufschluss über einen schlechten Ausblutungsgrad geben. Auch TROEGER et al. (2004) verwenden das relative Lebergewicht als Indikator für den Ausblutungsgrad bei Schweinen.

### **2.4.3 Methoden zur Erfassung des Ausblutungsgrades**

Zur Bestimmung des Restblutgehaltes bedient man sich des Chromoproteids Hämoglobin (WARRISS, 1977; WARRISS und RHODES, 1977; SCHWABENBAUER, 1989; KALLWEIT et al., 1989). Die Schwierigkeit hierbei stellt die Ähnlichkeit des Hämoglobins mit Myoglobin dar, die die gleiche Tertiärstruktur der Untereinheiten aufweisen. Diese bestehen aus einem Porphyrin-Ringsystem mit Häm als prosthetischer Gruppe (KARLSON, 1994). Hämoglobin besteht aus 2 $\alpha$ - und 2 $\beta$ - Untereinheiten und hat eine Molekülgröße von 64500, das Myoglobin besteht nur aus einer dieser Untereinheiten mit einer Molekülgröße von 17800.

In früheren Arbeiten wurde deshalb häufig der Gesamtpigmentgehalt bestimmt (GÖTZE, 1968). Der eigentliche Muskelfarbstoff, das Myoglobin, das sich in seinem Farbausdruck und seinem chemischen Verhalten von Hämoglobin kaum unterscheidet, wurde als entscheidender Störfaktor nachgewiesen (WEISS, 1953). GÖTZE (1969) stellte mit seinen Untersuchungen fest, dass sich der Pigmentgehalt im Muskelfleisch zu 2/3 aus Myoglobin und zu 1/3 aus Hämoglobin zusammensetzt. LAWRIE (1966)

gibt einen Anteil des Hämoglobins am Gesamtfarbstoffgehalt von nur 10 % an. BÜNNIG und HAMM (1974) geben diesen mit nur 8 % beim Schwein an. HAMM (1975) schließt daraus, dass Hämoglobin bei normal ausgebluteten Tieren auf die Farbe des Fleisches keine nennenswerten Auswirkungen hat. Auch HOFMANN und BLUECHEL (1991) bestätigten, dass die Farbe des Fleisches in erster Linie vom Muskelfarbstoff Myoglobin bestimmt wird. GEROLD und STOLLE (1994) stellten fest, dass die Gesamtpigmentkonzentration bei Rindern zu 11,5 % aus Hämoglobin und zu 88,5 % aus Myoglobin besteht. Für Hämoglobin konnten die Autoren im Gegensatz zum Myoglobin keine Korrelation mit dem Lebendgewicht der Tiere feststellen.

Von WARRISS (1977) wird angemerkt, dass die Bestimmung des Hämoglobins durch im Fleisch enthaltene kleine Gefäße, die Erythrozyten einschließen, nachdem die Plasmafraktion verloren geht, zu ungenauen Ergebnissen mit erhöhten Hämoglobingehalten führen kann.

Etlliche Autoren weisen darauf hin, dass die durch unterschiedliche Analysemethoden ermittelten Hämoglobingehalte nicht vergleichbar sind (STOLLE und PAULICK, 1990; NEUMANN und BEUTLING, 2001).

#### **2.4.3.1 Hilfsmethoden zur Bestimmung des Ausblutungsgrades**

Die Hilfsmethoden beruhen meist auf einer Beurteilung der Farbe. Hierbei wird, mit Ausnahme des Erythrozyten-Zählverfahrens, der Einfluss des Myoglobins nicht eliminiert, obwohl diesem ein erheblicher Anteil an der Muskelfarbe speziell bei gut ausgebluteten Tieren zugeschrieben wird (WEISS, 1953; LAWRIE, 1966; GÖTZE, 1969; BÜNNIG und HAMM, 1974; HAMM, 1975; HOFMANN und BLUECHEL, 1991; GEROLD und STOLLE, 1994).

##### **2.4.3.1.1 Fließpapierprobe und Fließpapier-Plexiglaskompressionsverfahren**

Nach der Methode von SCHÖNBERG (1937) wird ein Fließpapierstreifen zur Hälfte in ca. 5 cm tiefe Einschnitte der Muskulatur versenkt, dort 2 Minuten belassen und danach die Durchfeuchtung und Färbung des Strei-

fens beurteilt. Bei schlecht ausgebluteten Tieren dehnt sich die Durchfeuchtung über die Berührungsfläche hinaus aus und die Färbung des Streifens ist, im Gegensatz zur Gelbfärbung bei guter Ausblutung, zunehmend rot. Die Weiterentwicklung dieser Methode ist das bis heute noch bei der Fleischuntersuchung angewandte Fließpapier-Plexiglaskompressionsverfahren, dem nachträglich noch ein Druckhebelmechanismus zugefügt wurde („Braunschweiger Gerät“; ROEMMELE et al., 1961). Hier wird ein Stück Fleisch auf ein Blatt Fließpapier gelegt und zwischen zwei Plexiglasplatten eines Kompressoriums zusammengequetscht. Der Stärke der Rotfärbung des austretenden Fleischsaftes wird als Indikator für den Ausblutungsgrad verwendet.

TROEGER et al. (2004) beschrieben eine neue Filterpapiermethode, bei der 24 Stunden p. m. ein Filterpapierblättchen zunächst gewogen und dann unmittelbar nach Absetzen der Schulter auf die großen sichtbaren Blutgefäße (V. und A. axillaris) mit der flachen Hand und einem Krafteinsatz von 10 bis 20 kg gedrückt wurde. Danach erfolgte eine zweite Wägung des Filterpapiers. Fehlerquellen sind durch die Anhaftung von Nicht-Blut-Bestandteilen, wie z. B. Fettgewebsanteile, zu erwarten, die vor dem Wiegen sorgfältig zu entfernen sind.

#### 2.4.3.1.2 Hämoglobin-Bestimmung mittels Haemometer nach Sahli

ROGALSKI (1939) hat mit einem kolorimetrischen Verfahren den ausgepressten Muskelsaft auf seinen Hämoglobingehalt untersucht. Das Hämoglobin wird zunächst in braunes Hämichlorid umgewandelt und die Farbinintensität mit einer Vergleichslösung bekannter Hämichlorid-Konzentration verglichen. Dazu wird ein graduiertes Röhrchen mit Salzsäure befüllt, Fleischsaft hinzugegeben und vermischt. Nach und nach wird Wasser hinzugegeben, bis Farbgleichheit mit dem Vergleichsröhrchen erreicht scheint. Die Hämoglobinkonzentration kann dann direkt in Prozent nach Sahli abgelesen werden.

#### 2.4.3.1.3 Hämoglobin-Auslaugprobe

5 g des zu untersuchenden Fleisches werden zerkleinert und in einem Reagenzglas mit 10 ml Wasser geschüttelt. Nach 10 Minuten wird die Rotfärbung des Wassers beurteilt. Die Methode nach SCHÖNBERG (1944a) beruht auf der Tatsache, dass Blut in Wasser hämolysiert und das freiwerdende Hämoglobin zur Rotfärbung führt, während Myoglobin nicht löslich ist.

#### 2.4.3.1.4 Löfflerblau-Karbolfuchsin-Verfahren

Durch die Kombination der Hämoglobin-Auslaugprobe mit einer Farbreaktion lassen sich genauere Aussagen über den Ausblutungsgrad treffen (REDER, 1944). 3 g grobzerkleinertes Fleisch werden 5 Minuten mit 5 ml klarer blauer Farblösung ausgelaugt. Ist der Ausblutungsgrad gut, bleibt die Lösung blau, mit zunehmender Verschlechterung nimmt sie eine grüne bis braune Farbe an.

#### 2.4.3.1.5 Hämoglobin-Pseudoperoxidase-Probe mit Guajaktinktur

Die ebenfalls von SCHÖNBERG (1943) entwickelte Methode bedient sich der Fähigkeit des Hämoglobins als Peroxidase zu reagieren. In Anwesenheit von Wasserstoffsuperoxid wird das Substrat Guajaktinktur oxidiert. In reduziertem Zustand ist die Tinktur gelbbraun, in oxidiertem blau. Der Blutgehalt des Fleischstückchens bestimmt Schnelligkeit und Stärke der eintretenden Farbreaktion. Bei gut ausgeblutetem Fleisch zeigt sich nach 1 Minute ein schmaler blauer Saum. Je mehr Restblut vorhanden ist, umso schneller erfolgt ein blauer Farbumschlag, bei starkem Blutgehalt steigen innerhalb von Sekunden dunkelblaue Farbwolken um die Fleischprobe auf, die die gesamte Lösung dunkelblau oder blauviolett färben.

#### 2.4.3.1.6 Natronlauge-Kochprobe

Diese Methode nach SCHÖNBERG (1944b) basiert auf der Denaturierung des Eiweißanteils des Hämoglobins durch Kochen und dem nachfolgenden Nachweis der freigesetzten Häm-Komponente. 5 g Muskulatur werden zerkleinert und mit Natronlauge 10 Minuten gekocht. Nach dem Erkal-

ten wird die Natronlauge in ein Reagenzglas abgegossen und gegen das Tageslicht nach ihrer Färbung beurteilt. Ist die Flüssigkeit farblos bis gelblich, kann von einer guten Ausblutung ausgegangen werden. Braune, braungelbe oder braunrote Farbe weist auf eine schlechte Ausblutung hin.

#### 2.4.3.1.7 Hämoglobin-Gehaltsbestimmung nach Farbskala

Anhand der Hämoglobin-Bestimmung mit dem Haemometer nach Sahli wurde von PUSCH (1949) dieses Verfahren mit Farbskala entwickelt. Die Farbintensität von Proben mit Hämoglobingehalten von 2 bis 7 % nach Sahli wurden auf eine Farbskala übertragen und dienten als Vergleichswerte. Zwischen zwei Stahlplatten eines Kompressoriums wird ein haselnussgroßes Stück Fleisch gelegt. Der Fleischsaft wird ausgepresst und in einem Gefäß aufgefangen. Nach der Vermischung mit Wasser wird die Farbe der erhaltenen Lösung mit der Farbskala verglichen und der entsprechende Hämoglobingehalt abgelesen. Bei Werten über 5 % nach Sahli wird von einer schlechten Ausblutung ausgegangen.

#### 2.4.3.1.8 Zylinder-Pressverfahren

Bei dem von ENGDAHL (1954) entwickelten Verfahren wird 1 g Fleisch mit einem Metallkolben in einem Zylinder eine Minute lang auf zwei übereinanderliegenden runden Filterpapierscheiben gepresst. Die Scheibe, die in Kontakt mit dem Fleisch war, wird verworfen, die darunterliegende Scheibe farblich beurteilt. Bei guter Ausblutung lässt sich höchstens eine hellrote Verfärbung erkennen, bei schlechter Ausblutung ist die Verfärbung schmutzigrot.

#### 2.4.3.1.9 Malachitgrün-Hämoglobin-Test

Der Test nach RADAN (1955) basiert wie die Hämoglobin-Pseudoperoxidase-Probe auf der peroxidaseähnlichen Wirkung des Hämoglobins. Wasserstoffdonator ist in diesem Fall das Malachitgrün. In Gegenwart von Wasserstoffsuperoxid wird Hämoglobin in Oxy-Hämoglobin umgewandelt, welches dann durch die Reaktion mit Malachitgrün, das in

reduziertem Zustand klar und blau ist, eine trübe und grüngefärbte Lösung bildet.

#### 2.4.3.1.10 Ausblutungsindex

Die von OGIELSKI und WARTENBERG (1959) beschriebene Methode beruht wie die Hämoglobin-Bestimmung mit dem Haemometer nach Sahli auf der Messung der Häminchlorid-Konzentration. Zerkleinertes Fleisch wird mit Aqua bidest. versetzt, filtriert und der Extrakt mit der gleichen Menge Salzsäure vermischt. Die Bestimmung der entstandenen Hämatinsäure erfolgt mittels Photokolorimeter. An einer Eichkurve, auf der Hämoglobin-Konzentrationen von 1 bis 50 % entsprechende Extinktionswerte zugeordnet sind, wird der Ausblutungsindex abgelesen. Bei normaler Ausblutung ergeben sich beim Schwein Werte zwischen 3 und 13.

#### 2.4.3.1.11 Erythrozyten-Zählverfahren

Bei Pferdefleisch wird von PANTALEON und BOUTON (1962) die Zählung von Erythrozyten im Fleischextrakt mittels einer speziellen Zählkammer beschrieben. Unter Verwendung physiologischer Daten kann das Blutvolumen je Gewichtseinheit Muskulatur errechnet werden. Wegen der p. m. einsetzenden Erythrolyse muss die Bestimmung innerhalb von 3 Stunden erfolgen.

#### 2.4.3.1.12 Mikroskopisches Nachweisverfahren

BEUTLING und HAHLWEG (1981) führten die mikroskopische Untersuchung eines Muskelquetschpräparates bei 40facher Vergrößerung durch. Hierzu wurden vier haferkorngroße unbehandelte Muskelstücke pro Tier in einem Kompressorium gepresst und mittels Trichinoskop auf noch blutgefüllte Kapillaren untersucht. Die Beurteilung des Füllungszustandes der Kapillaren erfolgt in vier unterschiedlichen Graden.

#### 2.4.3.1.13 Hämoglobin-Diffusionstest

Der von BEUTLING (1984) entwickelte Test basiert auf dem Diffusionsvermögen von Hämoglobin in die Oberfläche von Nähragar. Zerkleinertes

oder gewolfenes Fleisch wird mit Aqua dest. extrahiert. Der Ansatz wird filtriert und 1 ml des Extraktes auf einen Nähragar in einem Reagenzglas geschichtet. Nach 2 Stunden bei Raumtemperatur erfolgt die Bewertung anhand von Farbintensität und Dicke der gefärbten Schicht. Fleischextrakt von gut ausgebluteten Tieren färbt den Nähragar nicht, mit zunehmender Verschlechterung des Ausblutungsgrades färben sich die oberflächlichen Schichten des Agars rot.

Nach STOLLE und PAULICK (1990) ist dieser Test nicht für die Praxis geeignet, da Kreuzreaktionen mit freigesetztem Myoglobin v. a. bei gefrorenem Fleisch auftreten können. Zudem ist bei niedrigen Blutgehalten in Zweifelsfällen keine Abgrenzung möglich.

#### 2.4.3.1.14 L\*a\*b\*-Farbmessung mittels Chromameter

STOLLE und PAULICK (1990) und WALTER (1991) bestimmten den Ausblutungsgrad mit dem Chromameter CR 100 (Fa. Minolta, Japan). Hierzu wurde nur der Helligkeitswert L\* berücksichtigt, da davon ausgegangen wurde, dass mit zunehmendem Restblutgehalt der Muskulatur die Fleischhelligkeit abnimmt. Fließpapierpressproben, unter die ein weißes Blatt Papier gelegt wurde, wurden in der Mitte der Fläche untersucht. Von WALTER (1991) wurde dieses Verfahren nur in Vorversuchen getestet, ergab dann im Vergleich zu anderen Verfahren so unbefriedigende Ergebnisse, dass es beim Hauptversuch nicht mehr eingesetzt wurde. GEROLD und STOLLE (1994) werteten den Einsatz des Chromameters für die Bestimmung des Ausblutungsgrades als nicht geeignet.

### 2.4.3.2 Spezifische Verfahren zur Hämoglobin-Bestimmung

#### 2.4.3.2.1 Hämoglobin-Nachweis mittels indirekter Hämagglutination

Die bei Rindern untersuchte serologische Nachweismethode von KLINGER (1966) basiert auf der Agglutinationsfähigkeit vorbehandelter Erythrozyten, wenn sie mit spezifischen Immunsereen in Kontakt kommen. Ein in geometrischer Reihe verdünnter Muskelextrakt, in dem Erythrozyten durch Aqua dest. hämolysiert werden, werden durch ein hämagglutinie-

rendes System quantitativ bestimmt. Der Extrakt wird mit spezifischem Antihämoglobin-Immenserum versetzt, anschließend werden gegen das Serum sensibilisierte Schaferythrozyten hinzugegeben. Das Hämoglobin des Muskelextrakts bindet die Antikörper des Serums und hemmt in Abhängigkeit zur Verdünnungsstufe die Agglutination von Immenserum und Schaferythrozyten. Eine vollständige Agglutination wird so lange gehemmt, wie noch Hämoglobin zur Bindung von Antikörpern des Immense-rums zur Verfügung steht. Die Auswertung des Agglutinationsbefundes in quantitativ verwertbare Zahlen erfolgt mittels Eichkurven, die mit Hilfe be-kannter Hämoglobin-Konzentrationen hergestellt werden.

#### 2.4.3.2.2 Aussalzverfahren und weitere photometrische Nachweis- methoden

Das Aussalzverfahren beruht auf der unterschiedlichen Löslichkeit von Hämoglobin und Myoglobin in Phosphatpuffer (RICKANSRUD und HEN-RICKSON, 1967). Hämoglobin fällt in Phosphatpuffer bei pH 6,6 aus, das weiterhin lösliche Myoglobin wird in eine Cyanverbindung überführt und bei 540 nm photometrisch gemessen. Nach der Bestimmung des Ge-samtpigmentgehalts nach dem gleichen Verfahren ergibt sich der Hämog-lobingehalt aus der Differenz der beiden bestimmten Werte. BÜNNIG und HAMM (1974) kritisieren diese Methode, da bei der Fällung des Hä-moglobins auch Myoglobin in wechselnden Mengen mit ausfällt, wodurch sich falsch hohe Hämoglobin- und falsch niedrige Myoglobin-Werte erge-ben.

Andere photometrische Verfahren basieren auf den spektralen Unter-schieden nach Umwandlung der Pigmente in Carboxy-Derivate (POEL, 1949; PATTERSON und ALLEN, 1966) oder Oxy-Derivate (SHENK et al., 1934). FLEMING et al. (1960) verglichen diese Verfahren auf ihre Aussa-gekraft und kamen zu dem Schluss, dass die Methoden mit Carboxy-Derivaten die genauesten Ergebnisse lieferten. Auch sie führten die nied-rigen Hämoglobin-Werte des Aussalzverfahrens auf den Verlust von Myo-globin beim Ausfällen zurück. Oxy-Verbindungen waren ihrer Meinung

nach ungeeignet, da sie sehr instabil sind und durch Autooxidation dem Nachweis entgehen.

#### 2.4.3.2.3 Isotopendiagnostik

Hier muss mit der Einleitung des Verfahrens bereits vor der Schlachtung begonnen werden, da dem lebenden Tier intravenös analytisch gut erfassbare radioaktiv markierte Testsubstanzen verabreicht werden, die sich anschließend gleichmäßig im Kreislaufsystem verteilen. In Abhängigkeit der Ionogenität der Testsubstanz erfolgt eine Markierung von Plasma- und Erythrozytenfraktion des Blutes. Aus der spezifischen Radioaktivität des Markierungsstoffes vor der Applikation und der Radioaktivität einer entsprechenden Blutprobe nach der Verdünnung der Testsubstanz im Kreislauf kann das Gesamtblutvolumen des Tieres errechnet werden. Von HEINZ et al. (1972) wurde der Ausblutungsgrad von Schlachtkaninchen mittels radioaktiver Markierung von Erythrozyten durch Chrom<sup>51</sup> untersucht. Mit der Methode konnte auch der Restblutgehalt von Muskulatur und inneren Organen ermittelt werden. HESS (1968) berechnete den Ausblutungsgrad von Schlachtkühen mit Jod<sup>131</sup>-markiertem Rinderalbumin.

#### 2.4.3.2.4 Elektrophorese

Die Elektrophorese wird zur Trennung von Proteinen angewandt und basiert auf der Wanderung geladener Teilchen im elektrischen Feld (KARLSON, 1994). Anschließend werden sie auf ihrem Träger fixiert und durch Anfärbung sichtbar gemacht. Zur Trennung von Myoglobin und Hämoglobin in Muskelpresssaft setzt GÖTZE (1971, 1974) Cellulose-Acetat-Folien als Träger ein. Die Auswertung erfolgt densitometrisch durch einen Pherogrammauswerter am Photometer. Auch DIELSCHNEIDER (1985) hat den Ausblutungsgrad bei Rehfleisch mittels Cellulose-Acetat-Folien-Elektrophorese bestimmt. Er verzichtete allerdings auf die Färbung, da bräunliche Banden auch ungefärbt zu erkennen waren und bestimmte die Dichte mit Hilfe eines Chromatogramm-Spektralphotometers.

#### 2.4.3.2.5 Isoelektrische Fokussierung

Bei dieser besonderen Form der Elektrophorese werden amphotere Substanzen durch ihren unterschiedlichen isoelektrischen Punkt in einem Gel mit pH-Gradient getrennt. Der pH-Gradient wird mit Hilfe von besonderen Puffersubstanzen (Ampholyte) während der Elektrophorese zwischen Anode und Kathode erzeugt. Die Proteine wandern dann bis zu dem Ort, an welchem der pH-Wert des Gels ihrem isoelektrischen Punkt (IEP) entspricht (KARLSON, 1994). Dort beträgt die Nettoladung 0 und eine Wanderung der Moleküle im elektrischen Feld ist nicht mehr möglich. Als Gele werden häufig Polyacrylamidgele eingesetzt (PAGIF). Dieses Verfahren der IEF wurde in die Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (1997) aufgenommen und wird routinemäßig zum Nachweis einer Tierart aus frischem Muskelfleisch verwendet.

STOLLE und PAULICK (1990) haben untersucht, ob die PAGIF zur Bestimmung des Ausblutungsgrades geeignet ist. Sie verwendeten ein automatisches Phast-System und als Färbung Comassie Blue. An Stelle der quantitativen Bestimmung ermittelten sie die Werte über Einbeziehung von Referenzen. WALTER (1991) versuchte anhand dieser Methode den quantitativen Nachweis von Hämoglobin mittels Densitometer, weist aber darauf hin, dass das Mitführen von Referenzen zwingend erforderlich ist, da sich Unterschiede in der Färbung der Gele zeigten. KIRCHNER (1992) wendet diese Methode zur Trennung von Myoglobin und Hämoglobin im Muskelextrakt an. HOFMANN und BLÜCHEL (1991) geben an, dass die PAGIF in Gegenwart von Natriumdodecylsulfat (SDS) eine scharfe Trennung und durch densitometrische Erfassung die quantitative Bestimmung der beiden Häm-Proteine ermöglicht.

#### 2.4.3.2.6 Gelchromatographische Verfahren

Der Begriff Chromatographie wurde für alle Trennverfahren übernommen, bei denen sich die zu trennenden Substanzen zwischen einer stationären und einer mobilen Phase verteilen (KARLSON, 1994). Bei der Gelfiltrationschromatographie erfolgt die Auftrennung von Proteingemischen anhand der unterschiedlichen Molekulargewichte (LÖFFLER und

PETRIDES, 2002). BÜNNIG und HAMM (1974) untersuchten die Trennung von Hämoglobin und Myoglobin nach Oxidation zur Met-Form mittels Gelchromatographie an einer Sephadex-Säule. Die mobile Phase wird hierbei durch einen wässrigen Muskelextrakt gebildet, als stationäre Phase finden Gele Verwendung, die sich in einer Säule befinden. Untersuchungen zur Bestimmung des Ausblutungsgrades mittels Gelchromatographie an der Sephadex-Säule wurden auch von WARRISS und RHODES (1977) sowie CHRYSTALL et al. (1981) durchgeführt.

Eine Sonderform der Gelfiltrationschromatographie stellt die Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC: High Pressure Liquid Chromatography) dar, bei der das Laufmittel unter Druck durch die Gelsäule gepumpt wird. Das Trennprinzip beruht darauf, dass große Moleküle nicht in die Poren der aus porösen Körnern bestehenden stationären Phase eindringen können und somit rasch mit der mobilen Phase die Säule passieren. Mittelgroße Moleküle besetzen selektiv einen Teil des Porenvolumens, während kleinere Moleküle die Poren des Gels vollständig ausfüllen und daher größere Passagezeiten für die Säule benötigen. Im Detektor erscheint so zuerst das größere Molekül Hämoglobin, etwas später das Myoglobin (MOJE, 1993). Jede Komponente erzeugt dort ein elektrisches Signal, das registriert wird; ein Chromatogramm entsteht.

OELLINGRATH et al. (1990) verglichen die Eignung verschiedener Säulen für die Trennung von Hämoglobin und Myoglobin und stellten fest, dass sowohl die Ionenaustauschsäule als auch die hydrophobe Wechselwirkungssäule die beiden Proteine vollständig trennt, während die Gelfiltrationssäule unbefriedigendere Ergebnisse lieferte. Diese Ergebnisse wurden von GEROLD und STOLLE (1994) bei Versuchen unter Verwendung der hydrophoben Wechselwirkungssäule bestätigt. WOLTERSDORF et al. (2000) wendeten eine ähnliche Methode an, stellten aber fest, dass mit hydrophoben Wechselwirkungssäulen keine Trennung von Hämoglobin und Myoglobin erreicht werden konnte. Bei diesen Untersuchungen lieferte die Gelfiltrationssäule zur Bestimmung des Ausblutungsgrades beim Rind die besseren Ergebnisse, auch wenn hierbei ebenfalls keine voll-

ständige Trennung erzielt werden konnte. Diese Methode wurde für die Hämoglobin-Bestimmung im Rahmen dieser Arbeit angewandt und wird in Kapitel 3.1.3.4.2 näher beschrieben.

#### **2.4.4 Einflussfaktoren auf den Ausblutungsgrad**

Ein vollständiger Blutentzug während der Schlachtung ist auch bei bestmöglicher technischer Durchführung mit keinem Entbluteverfahren zu erreichen (GÖTZE, 1974). Der Ausblutungsgrad des Fleisches ist von einer Reihe von Faktoren abhängig. Dabei spielt vor allem die Schlachttechnik eine maßgebliche Rolle (HEINZ et al., 1972).

##### **2.4.4.1 Betäubungsmethode**

Bei Untersuchungen an Schafen konnten WARRISS und LEACH (1978) keine Unterschiede im Restblutgehalt nach elektrischer und Bolzenschussbetäubung feststellen. SCHWABENBAUER (1989) zeigte, dass mit Bolzenschuss betäubte Schafe niedrigere Hämoglobingehalte des M. longissimus dorsi als geschächtete oder elektrisch betäubte Tiere hatten. Bei Vergleich von elektrischer Betäubung mit Kopf-Durchströmung und Bolzenschussbetäubung mit der nach islamischen Ritus durchgeführten Halal-Schlachtung konnte bei Rindern kein Einfluss auf den Ausblutungsgrad nachgewiesen werden (STÜBER, 2000).

Nach elektrischer Betäubung ist der Ausblutungsgrad schlechter als bei Schweinen, die mit CO<sub>2</sub> oder mechanisch betäubt wurden (SCHLENKRICH, 1989). Untersuchungen von TROEGER et al. (2005) haben gezeigt, dass auch die Art des Gases sowie dessen Konzentration Einfluss auf den Ausblutungsgrad haben. GREGORY (2005) merkt an, dass durch die Muskelkontraktionen, die durch die elektrische Betäubung ausgelöst werden, das Blut aus der Muskulatur in die großen Gefäße von Thorax und Abdomen gepresst wird.

Auch zwischen den verschiedenen elektrischen Betäubungsverfahren traten Unterschiede bezüglich des Restblutgehaltes auf. Nach Elektroschockbetäubung (180 V) konnten GISSKE und GLEES (1964) im Ge-

gensatz zur konservativen Elektrobetäubung (70 V) einen größeren Anteil an Tieren mit sehr gut ausgebluteter Muskulatur feststellen.

Bei früheren Untersuchungen (OGIELSKI und WARTENBERG, 1959, 1961; WARRISS, 1978) wurde davon ausgegangen, dass ein schlagendes Herz Voraussetzung für einen guten Ausblutungsgrad der Muskulatur ist. KIRTON et al. (1981) stellten bei Untersuchungen an Lämmern fest, dass innere Organe, Herz und Lunge bei Tieren, die mit Herzdurchströmung betäubt wurden, im Vergleich zu nur mit Kopfdurchströmung betäubten oder unbetäubten Lämmern ein höheres Gewicht aufwiesen. Beim warmen Schlachtkörper war hingegen kein Unterschied feststellbar. CHRYSTALL et al. (1981) kamen zu dem Schluss, dass eine anhaltende Herzfunktion nicht zur Verbesserung des Ausblutungsgrades von Lammfleisch beitragen kann. KIRCHNER (1992) wies mit ihren Untersuchungen an Schweinen nach, dass bei der Elektrobetäubung mit Auslösung von Herzkammerflimmern keine negative Beeinflussung des Ausblutungsgrades zu erwarten ist. Auch WARRISS und WOTTON (1981) kamen zu diesen Ergebnissen und konnten zudem keinen Einfluss des Cardiac-Arrest-Stunning auf das Gewicht von Leber und Milz feststellen. GREGORY et al. (1985) konnten nach Auslösen von Herzkammerflimmern auch keinen Effekt auf den Restblutgehalt der Haut bei Rindern feststellen.

#### **2.4.4.2 Entblutungsmethode**

##### 2.4.4.2.1 Entbluteposition

HESS (1968) fand heraus, dass bei Rindern durch die Entblutung im Hängen im Mittel 40 % weniger Restblut in der Muskulatur verbleibt als bei der Liegendentblutung. Diese Angaben werden von SCHLENKRICH (1989) und THIEMIG (1996) bestätigt.

Untersuchungen an Schafen ergaben, dass die Lage der Tiere bei der Entblutung keinen Einfluss auf den Hämoglobingehalt der Muskulatur hatte (WARRISS und LEACH, 1978; CHRYSTALL et al., 1981). Auch KARSCH (1997) fand zwischen liegender und hängender Entblutung bei

Rindern keine Unterschiede im Ausblutungsgrad. Allerdings stellte er fest, dass der Restblutgehalt der Leber bei horizontaler Entblutung erhöht war. Bei Untersuchungen des Hämoglobingehalts des *M. longissimus dorsi* konnte der Einfluss der Elektrostimulation bei Rindern auf den Ausblutungsgrad nicht bestätigt werden (GEROLD und STOLLE, 1994).

MOJE (1993) konnte bei liegender Entblutung nach CO<sub>2</sub>-Betäubung keine erhöhten Hämoglobinkonzentrationen in der Muskulatur im Vergleich zur Hängendentblutung finden. Nach Elektrobetäubung waren die Werte bei hängender Entblutung der Schweine etwas niedriger.

#### 2.4.4.2.2 Stechtechnik

GEROLD und STOLLE (1994) gehen davon aus, dass ein fachgerechter Bruststich den Ausblutungsgrad verbessert. GREGORY (2005) gibt an, dass der Restblutgehalt von Muskulatur und inneren Organen durch eine Durchtrennung des N. vagus beim Entblutestich erhöht wird.

#### 2.4.4.2.3 Betäubungs-Stech-Intervall

Einige Autoren weisen darauf hin, dass bei einer Zunahme des Zeitintervalls zwischen Betäubung und Stechen der Ausblutungsgrad negativ beeinflusst wird (HEINZ et al., 1972; GEROLD und STOLLE, 1994). OGIELSKI und WARTENBERG (1961) haben festgestellt, dass bei Kälbern nach Bolzenschussbetäubung der Ausblutungsgrad der Muskulatur bei einer Verlängerung des Betäubungs-Stech-Intervalls deutlich schlechter wird. Werden Rinder nach Elektrobetäubung mit Herz-Durchströmung erst nach 15 Minuten entblutet, ist der Restblutgehalt der Haut doppelt so hoch wie nach sofortigem Blutentzug (GREGORY et al., 1985). WILLIAMS et al. (1981) stellten bei einer verzögerten Entblutung zwar keine höheren Hämoglobingehalte der Muskulatur, aber eine Zunahme des Milzgewichts fest. Dagegen fanden VIMINI et al. (1983) bei ihren Untersuchungen an Rindern keine Zunahme des Organgewichts durch einen verzögerten Blutentzug. Bei Entblutung bereits verendeter Tiere fiel bei Untersuchungen von STOLLE und REUTER (1981) bei den inneren Organen, insbe-

sondere bei der Leber, eine vermehrte Blutfülle und Volumenzunahme auf.

#### 2.4.4.2.4 Einfluss der Stichblutmenge

Verschiedene Autoren (GISSKE und GLEES, 1964; WARRISS und LEACH, 1978; CHRYSTALL et al., 1981; WARRISS, 1984; STOLLE und PAULICK, 1990; WALTER, 1991; KARSCH, 1997) geben an, dass zwischen der ermittelten Stichblutmenge und dem Restblutgehalt der Muskulatur kein Zusammenhang besteht. WARRISS (1977) macht für die Differenzen die verbleibenden Blutgehalte der inneren Organe verantwortlich. WARRISS (1978) schließt aus seinen Untersuchungen an Ratten, dass der Einfluss der Stichblutmenge auf den Restblutgehalt der Muskulatur nur eine geringe Rolle spielt, da auch bei nicht entbluteten Ratten bei Stress eine besserer Ausblutungsgrad erzielt werden konnte und weist deshalb dem Einfluss der Katecholamine die bedeutendere Rolle zu. OELLINGRATH et al. (1990) gehen bei ihren Untersuchungen davon aus, dass der Hämoglobingehalt von der Vaskularisation des Muskels und dem Blutverlust des Schlachttierkörpers abhängig ist.

#### 2.4.4.3 Individuelle Faktoren

GÖTZE (1974) führt das Maß des Ausblutungsgrades auf den Gesundheitszustand der Tiere bei der Schlachtung zurück. Er untersuchte die Hämoglobinkonzentration des Presssaftes aus der Zwerchfellmuskulatur bei gesunden normalgeschlachteten, notgeschlachteten und verendeten Schweinen. Der Hämoglobingehalt war bei den drei Gruppen signifikant verschieden und nahm von den gesunden bis zu den verendeten Tieren deutlich zu. OGIELSKI und WARTENBERG (1959) machten ähnliche Erfahrungen.

WARRISS (1978) stellte bei Untersuchungen an Ratten fest, dass bei Vasodilatation mehr Blut im Tierkörper zurückbleibt als bei Vasokonstriktion. Hierbei spielt der Einfluss des vegetativen Nervensystems aufgrund der Katecholamin-Ausschüttung eine große Rolle. Der Autor gibt die Stresssituation der Tiere bei der Schlachtung als den Haupteinflussfaktor für den

Restblutgehalt der Muskulatur an. Er schließt daraus, dass gesunde Tiere auf die Schlachtung die ausgeprägteste Reaktion mit Adrenalin-Ausschüttung zeigen. Nach SWATLAND (1982) hat auch das Polypeptid Angiotensin II Einfluss auf den Ausblutungsgrad. Es wird bei Minderdurchblutung der Nieren gebildet und führt ebenfalls zu Vasokonstriktion.

WARRISS und RHODES (1977) wiesen bei Kühen eine Altersabhängigkeit des Ausblutungsgrades nach. Zu diesen Ergebnissen kam auch HOFMANN (1992). SCHWABENBAUER (1989) stellte bei ihren Untersuchungen an Schafen fest, dass jüngere Tiere niedrigere Hämoglobingehalte aufwiesen.

WARRISS und RHODES (1977) konnten bei Rindern auch geschlechtsabhängige Differenzen des Hämoglobingehalts feststellen. Bullen hatten niedrigere Hämoglobingehalte als Kühe und Ochsen. Geschlechtsspezifische Differenzen von Schweinen bezüglich des Hämoglobingehalts ermittelten WARRISS et al. (1990). Jungsauen hatten im Vergleich zu Kastraten höhere Hämoglobingehalte, die Werte von Ebern lagen dazwischen.

## **2.5 Fleischqualität**

Die letztlich resultierende Fleischqualität wird von einer Vielzahl von externen und genetischen Faktoren beeinflusst, neben der Betäubungsmethode und dem Entblutungsverfahren gehören dazu Haltung und Fütterung, Transport, Nüchterungs- und Wartezeiten, Behandlung der Tiere am Schlachthof, Rasse und Genotyp sowie die Kühlung des Schlachttierkörpers (VON MICKWITZ und LEACH, 1977; SYBESMA, 1980; GREGORY, 1985; BROCK, 1987; SACKMANN, 1988; TROEGER und WOLTERS-DORF, 1988; LAMBOOY und RING, 1989; VON MICKWITZ und HEUKING, 1990; TROEGER, 1990; STEGEN, 1993; VON WENZLAWOWICZ et al., 1994; CHRISTENSEN und BARTON GADE, 1997; GREGORY, 1998; GNEIST, 2000; ROSENVOLD und ANDERSEN, 2003).

Die wichtigsten Messparameter zur Erfassung der Fleischqualität sind pH-Wert, Muskelkerntemperatur, elektrische Leitfähigkeit und Farbhelligkeit (SCHWÄGELE, 1992). Sie stellen wichtige Kriterien bei der Fleischreifung und der Qualität des Endprodukts, u. a. bestimmt durch Geschmack, Zartheit, Farbe, Wasserbindungsvermögen und Haltbarkeit, dar (PETERS, 1996).

Die nach dem Tod des Tieres weiter ablaufenden biochemischen Stoffwechselfvorgänge führen wegen des Sauerstoffmangels zum anaeroben Abbau der Glykogenreserven des Muskels. Dadurch entstehen Laktat und Wasserstoffionen, die zur pH-Wert-Absenkung im Fleisch führen. Je höher die Temperatur des Muskels ist, umso schneller läuft dieser Prozess ab (HONIKEL und HAMM, 1974; SCHEPER, 1978; HECHT, 1986). Durch das Zusammenspiel hoher Kerntemperaturen und niedriger pH-Werte wird der Grundstein für Membranschädigungen der Muskelzellen und Austritt intrazellulärer Flüssigkeit gelegt, was sich in einer Veränderung des dielektrischen Verhaltens, d. h. einer Erhöhung der Leitfähigkeit, zeigt (FEHRENBURG, 1991; SCHWÄGELE, 1992; HONIKEL und KIM, 1995).

### **2.5.1 Einfluss des Betäubungs- und Entblutungsverfahrens auf die Fleischqualität**

Im Allgemeinen weist Fleisch elektrisch betäubter Tiere einen rascheren pH-Abfall auf verglichen mit dem CO<sub>2</sub>-betäubter Tiere, wobei der End-pH-Wert davon nicht betroffen ist (CHANNON et al., 2000, 2002). Dies ist bedingt durch den vermehrten Energieumsatz aufgrund der durch den epileptiformen Anfall ausgelösten Muskelaktivität (TROEGER und WOLTERSDORF, 1990).

Die Angaben für eine optimale Elektrobetäubung im Hinblick auf die Fleischqualität variieren stark (GRÄTZ und DRAWER, 1984; BROCK, 1987; KORTMANN, 1987; WOLTERSDORF und TROEGER, 1987b).

Zahlreiche Autoren stellten nach Elektrobetäubung mit Herzdurchströmung vergleichbare oder sogar bessere Fleischqualitätsparameter fest und führen dies auf die geringe Krampfaktivität beim Cardiac-Arrest-

Stunning zurück (FEHRENBURG, 1991; WALTER, 1991; FREITAG, 1994).

Die Entblutung stellt den entscheidenden Schritt bei der Umwandlung des Muskels zum Fleisch dar (SWATLAND, 1982). Wird diese nicht bzw. erst nach dem Verenden durchgeführt, entwickelt der Schlachtkörper Kriterien von DFD-Fleisch (STOLLE und REUTER, 1981). Durch die Entblutung im Liegen kann der PSE-Anteil verringert werden (WOLTERSDORF und TROEGER, 1987a; WILLAM und LORENCZ, 1994). Diese Position führt zu einer Verminderung der Muskelarbeit, die im Hängen gegen das eigene Gewicht geht, und zu einer günstigeren pH-Wert-Entwicklung aufgrund des geringeren Energieverbrauchs (TROEGER, 1990).

## **2.5.2 Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp auf die Fleischqualität**

### **2.5.2.1 Rasse**

Die beiden Rassen Deutsches Edelschwein (DE) und Deutsche Landrasse (DL) sind sich hinsichtlich ihrer Schlachtkörperzusammensetzung und Fleischqualität ähnlich. KALBE et al. (2005) konnten hier keine signifikanten Unterschiede ausmachen. Die allgemeine Muskelfülle, wie sie speziell bei der Rasse Pietrain charakteristisch ist, beeinflusst bei extremer Ausprägung die Fleischqualität negativ. Durch große Faserquerschnittsflächen der Muskulatur und einen geringen Kapillarisierungsgrad wird eine ungünstige Versorgung der Gewebe mit Sauerstoff verursacht, die als endogen bedingte Ursache für Stressempfindlichkeit und Mängel in der Fleischqualität, besonders bei der Rasse Pietrain verantwortlich gemacht wird (WENDT et al., 2000; KALBE et al., 2005).

### **2.5.2.2 Malignes Hyperthermie Syndrom und PSE-Fleisch**

Als Ursache stressbedingter Erkrankungen bei fleischbetonten Schweinerassen (v. a. Pietrain) wie Malignes Hyperthermie Syndrom (MHS), Belastungsmiopathie und Rückenmuskelnekrose sowie der Entwicklung von PSE-Fleisch wurde eine Punktmutation am Chromosom 6 ausgemacht, die zur Entstehung eines veränderten Ryanodin-Rezeptors (mutRYR-1)

der quergestreiften Muskulatur führt und beim Schwein autosomal rezessiv vererbt wird (FUJII et al., 1991).

#### 2.5.2.2.1 Genetik

In früheren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Eigenschaft für Stress- bzw. Halothan-Empfindlichkeit rezessiv vererbt wird. Das dominante Allel stressresistenter Tiere wurde mit N bezeichnet, das rezessive Allel stressempfindlicher Tiere mit P. Der homozygote Genotyp NN gilt auch phänotypisch als stressstabil, beim heterozygoten Mischtyp NP gilt dies als fraglich. Der homozygote Genotyp PP ist sowohl geno- als auch phänotypisch stressempfindlich (FISCHER, 1999; WENDT et al., 2000).

Das P-Allel, das als Ryanodin-Rezeptorgen bzw. HAL ausgemacht wurde, befindet sich auf einem autosomalen Locus, der als Chromosom 6p11-q21 bezeichnet wird. Die DNS-Sequenz unterscheidet sich in einer Base - Cytosin wird durch Thymin ersetzt - von der des stressstabilen Typs (BREM und BRENIG, 1992; WENDT et al., 2000; FRIES und THALLER, 2003).

Der mutierte Ryanodin-Rezeptor ist für die Stressanfälligkeit, das klinische Erscheinungsbild der Belastungsmiopathie sowie bestimmte Fleischqualitätsmängel (PSE) verantwortlich (FIEDLER et al., 1999; MONIN et al., 1999; BIEDERMANN et al., 2000; WENDT et al., 2000; GUARDIA et al., 2004; SCHWÄGELE, 2004).

#### 2.5.2.2.2 Pathophysiologie des Ryanodin-Rezeptors der quergestreiften Muskulatur

Der Ryanodin-Rezeptor ist ein Membranprotein des sarkoplasmatischen Retikulums, das als Kalzium-Kanal fungiert. Der Ryanodin-Rezeptor der quergestreiften Muskulatur wird als RYR-1 bezeichnet. Der mutierte Ryanodin-Rezeptor (mutRYR-1) unterscheidet sich nur durch den Austausch einer einzigen Aminosäure – Arginin wird durch Cystein ersetzt - von dem aus über 5000 Aminosäuren bestehenden RYR-1 (MARTENS, 1998; WENDT et al., 2000; FRIES und THALLER, 2003; SCHWÄGELE, 2004).

Der RYR-1 wird von verschiedenen Substanzen - an erster Stelle ist hier die intrazelluläre Kalzium-Konzentration zu nennen - aktiviert und inaktiviert. Zusammen mit einem als Dihydropyridin-Rezeptor (DHPR) bezeichneten Protein, welches den RYR-1 aktiviert, ist er für die elektromechanische Kopplung verantwortlich. Die Kalzium-Freisetzung spielt für die Interaktion von Aktin und Myosin sowie für die Bereitstellung von ATP für die Muskelkontraktion eine wesentliche Rolle. Durch die Mutation des Ryanodin-Rezeptors kommt es zur vermehrten Kalzium-Freisetzung aus dem sarkoplasmatischen Retikulum der Muskelfasern in Stresssituationen, da der mutRYR-1 eine höhere Affinität gegenüber Kalzium aufweist. Der beim RYR-1 einsetzende negative Feedback-Mechanismus bei hohen Kalzium-Konzentrationen kann beim mutRYR-1 nicht mehr oder nur ungenügend ausgelöst werden (MARTENS, 1998; WENDT et al., 2000). Die dadurch ausgelösten anhaltenden Muskelkontraktionen führen zu einer gesteigerten anaeroben Glykolyse, Laktatazidose und Hyperthermie (BICKHARDT, 2001). Die Erschöpfung der Energiereserven und die Anhäufung von Stoffwechselendprodukten wie Laktat führen zur Störung der Osmoregulation der Zelle, die anschwillt und so die Diffusion für Sauerstoff und Energie in Form von Glucose erschwert. Das Endergebnis ist der Zelltod (MARTENS, 1998).

FIEDLER et al. (1999) stellten bei Trägern des P-Allels (PP, NP) einen größeren Anteil von Muskelfasern mit großem Durchmesser (TypIIB) und eine verminderte Kapillaranzahl fest, wodurch die Diffusion von Sauerstoff in die Zelle erschwert wird. Diese FTG-Fasern (fast twitch glycolytic) erhöhen im Gegensatz zu den kleineren STO-Fasern (slow twitch oxidative) das glykolytische Potential der Zelle. Auch anomale Fasertypen („Angular fibres“, „Giant fibres“) konnten bei PP-Tieren vermehrt gefunden werden. Durch das vermehrte Vorkommen dieser Muskelfasertypen, die ihre Energie aus anaerober Glykolyse beziehen, entsteht ein Energiedefizit aufgrund der unergiebigem ATP-Synthese. Durch den vermehrten Anfall von Laktat kommt es zu einem Abfall des pH-Werts (MARTENS, 1998; WENDT et al., 2000).

#### 2.5.2.2.3 Nachweis des MHS-Gens

Der Halothan-Test ist durch Etablierung aussagekräftigerer und tier-schutzgerechterer Methoden zum Nachweis des MHS-Gens überflüssig geworden (BICKHARDT, 2001). Er erlaubt keine Unterscheidung von heterozygot und homozygot stressresistenten Tieren, zudem liefert er bei 5 % der homozygot stressempfindlichen Tiere wegen unvollständiger Penetranz falsch negative Ergebnisse und führt zu starken Belastungen von Mensch, Tier und Umwelt. Halothanpositive Tiere reagieren auf die Exposition in Halothangas mit Tachykardie und Steigerung der Atemfrequenz mit der möglichen Folge von Kreislaufversagen und kardiogenen Schockzuständen. Zudem zeigen sich Muskelstarre und starke Hyperthermie (BREM und BRENIG, 1992).

Der Kreatinkinasetest (CK-Test) erfasst die Stressempfindlichkeit anhand des CK-Spiegels im Blut der Schweine 16-24 Stunden nach Applikation des Präparats „Myostress“ (Wirkstoffe: Neostigmin und Atropin), welches milde Belastungsreaktionen auslöst. Werte über 1000 U/l weisen auf Belastungsmiopathie hin, bei Werten über 2000 U/l ist von einer bestehenden Belastungsmiopathie auszugehen (BICKHARDT, 2001).

Beim heute üblichen MHS-Gentest wird in einer Blut- oder Hautprobe das Ryanodin-Rezeptorgen mittels Polymerase-Kettenreaktion isoliert und durch den Restriktionsfragmentlängenpolymorphismus analysiert. Dadurch ist die Einteilung der Tiere in homozygot-stressstabil (NN) oder – labil (PP) und heterozygot (NP) möglich (BICKHARDT, 2001). Eine detaillierte Beschreibung des MHS-Gentests ist bei BREM und BRENIG (1992) nachzulesen.

#### 2.5.2.2.4 Verlaufsformen klinischer Erkrankungen bei MHS-positiven Schweinen

Durch die abnorm beschleunigte Glykolyse und Laktatbildung in der Muskulatur kommt es zu klinischer Manifestation unterschiedlichster Ausprägung (BICKHARDT, 2001). Es sind drei Verlaufsformen bekannt: die la-

tente Belastungsmyopathie, die akute Belastungsmyopathie und das Auftreten von Muskelnekrosen (WENDT et al., 2000).

Die latente Belastungsmyopathie manifestiert sich durch den Schlachtvorgang. Das Energiedefizit der Muskeln ist Schrittmacher dieses Prozesses, bei dem der intrazelluläre Kalzium-Transport gestört wird und in einem Circulus vitiosus mit weiteren Muskelkontraktionen und einer Steigerung von Energieverbrauch und Glykogenolyse endet. Auslöser sind starke Belastungen vor dem Schlachten, durch die Betäubung ausgelöste Muskelkontraktionen und der anschließende Blutentzug. Bei den betroffenen Schweinen tritt die Totenstarre verfrüht ein (BICKHARDT, 2001).

Die akute Belastungsmyopathie wird durch Stresssituationen ausgelöst, die zu beschleunigten Muskelstoffwechselsituationen führen. Durch die metabolische Azidose kommt es zu Laktatanhäufungen in generalisierter oder lokaler Form. Da das Herz Laktat nicht effektiv abbauen kann, kommt es in Verbindung mit Elektrolytverschiebungen zur Insuffizienz und zum kardiogenen Schock. Zusätzlich wird durch die anhaltenden Muskelkontraktionen eine Hyperthermie verursacht, der die Schweine, aufgrund ihrer Unfähigkeit zu schwitzen, unzureichend entgegenwirken können (WENDT et al., 2000).

Überleben Schweine die akute Belastungsmyopathie, kommt es aufgrund des starken pH-Abfalls und des Energiedefizits lokal zum Versagen der Natrium-Pumpe und zum Einstrom von Wasser in die Zelle. Die Schwellung bewirkt eine Minderversorgung der Zelle mit Sauerstoff und Nährstoffen und führt zum baldigen Zelltod. Durch den Austritt von Enzymen aus der abgestorbenen Zelle werden auch Nachbarzellen betroffen und es kommt in einer Kettenreaktion zu lokalen Degenerationen und Muskelnekrosen, die lokal beschränkt sind. Besonders ausgeprägt können sich diese Veränderungen im M. longissimus dorsi zeigen, wo sie eine deutlich sichtbare Schwellung verursachen (Akute Rückenmuskelnekrose, Bananenkrankheit). In den meisten Fällen sind die Muskelnekrosen jedoch disseminiert und bleiben klinisch latent. Bei den betroffenen Tieren ist eine

ausgeprägte Schmerzsymptomatik feststellbar. Auch in dieser Phase kann es zu Todesfällen kommen (WENDT et al., 2000; SCHWÄGELE, 2004).

#### 2.5.2.2.5 Zuchtziele

Die früher gewünschte extreme Ausprägung von Rücken-, Schinken- und Magerfleischanteilen, die ebenfalls mit dem Gendefekt gekoppelt ist, leistete der Selektion homozygot stressempfindlicher Schweine ungewollt Vorschub (BREM und BRENIG, 1992; MARTENS, 1998). Bei diesen Tieren vervierfacht sich das Risiko der Entstehung von PSE-Fleisch (GUARDIA et al., 2004).

BREM und BRENIG (1992) fordern die Anpaarung homozygot stressstabiler Sauen mit fleischreichen Vaterrassen des Genotyps PP um Schlachttiere mit hohem Magerfleischanteil und geringer Stressanfälligkeit zu erhalten. Die Schlachtleistung des Genotyps NP ist im Vergleich mit PP nur um 0,9 % schlechter. Heterozygote Tiere weisen im Gegensatz zu homozygot stressempfindlichen, die einen PSE-Anteil von 50 % aufweisen, nur einen Anteil von 3,4 % auf (BECKMANN, 1991).

In jüngerer Zeit wird jedoch die vollständige Eliminierung des P-Allels aus der Zucht von vielen Autoren sowohl aus Sicht des Tierschutzes als auch zur Vermeidung schlechter Fleischqualität gefordert und auf Erfolge der Schweinezucht in Dänemark, den Niederlanden und der Schweiz verwiesen. Homozygot stressresistente Schweine liefern bei entsprechender Behandlung beim Transport und am Schlachthof die beste Fleischqualität aller Genotypen mit guten Verzehrseigenschaften (LUNDSTRÖM et al., 1989; LITTMANN und PESCHKE, 1994; BIEDERMANN et al., 1997; MARTENS, 1998; WITTMANN et al., 1998; MONIN et al., 1999; WENDT et al., 2000; BICKHARDT, 2001; FABREGA et al., 2004).

Da Testpaarungen zur Identifizierung der Merkmalsträger aufwendig und teuer sind, empfiehlt sich die Anwendung des MHS-Gentests als Selektionsmaßnahme. Dadurch könnte innerhalb einer einzigen Generation durch konsequente Merzung die Sanierung und der Aufbau einer stressresistenten Population erreicht werden. Stressbedingte Todesfälle wäh-

rend der Mast und beim Transport in einer Größenordnung von 5 % könnten dadurch vermieden und ein aktiver Beitrag zum Tierschutz geleistet werden (BREM und BRENIG, 1992).

Die Sanierung der Deutschen Landrasse gilt als eindruckvolles Beispiel für den Erfolg der Bemühungen um die Züchtung stressresistenter Tiere. Bei der Rasse Pietrain besteht Handlungsbedarf, obwohl auch hier seit den 80er Jahren züchterische Selektion stattfand. Eine vollständige Sanierung konnte jedoch aufgrund des hohen Anteils stresslabiler Tiere in der Population noch nicht erreicht werden (BIEDERMANN et al., 2000).

### **2.5.3 Eigenschaften von PSE- und DFD-Fleisch**

Alle Faktoren, die beim Tier Stress auslösen, wie Transport, Nüchternungs- und Wartezeiten vor der Schlachtung, Betäubung und Entblutung sowie die Bearbeitung des Schlachttierkörpers und dessen Kühlung, spielen neben dem Genotyp bei der Entstehung und Ausprägung von PSE-Eigenschaften eine Rolle (AUGUSTINI, 1983; CHANNON et al., 2000; GUARDIA et al., 2004).

Die bei MHS-positiven Schweinen beschleunigten postmortalen Stoffwechselprozesse führen zu Laktatanhäufung, pH-Wert-Abfall und Temperaturerhöhung im Muskel. Unter diesen Bedingungen denaturieren die Muskelproteine und es kommt zur Ausbildung von blassem, weichem und wässrigem (PSE = pale, soft, exudative) Fleisch. PSE-Fleisch hat niedrigere Gehalte an löslichen Proteinen sowie ein geringeres Wasserbindungsvermögen und höhere Tropfsaftverluste (WENDT et al., 2000; BICKHARDT, 2001).

Werden betroffene Schweine vor und bei der Schlachtung sehr langen oder starken Belastungen ausgesetzt, sind die Glykogenreserven bereits intra vitam stark vermindert oder verbraucht und stehen für die postmortale Glykolyse nicht mehr zur Verfügung, d. h. die Fleischsäuerung ist vermindert oder bleibt aus. Dadurch entsteht dunkles, festes und trockenes (DFD = dark, firm, dry) Fleisch mit niedrigen Laktatgehalten und folglich hohen pH-Werten, dessen Haltbarkeit stark eingeschränkt ist (SCHEPER,

1979; BICKHARDT, 2001). DFD-Fleisch kommt im Vergleich zur Häufigkeit beim Rind beim Schwein nur verhältnismäßig selten vor (BINKE, 2003).

Weitere Qualitätsabweichungen, die Mischformen von PSE und DFD darstellen, werden als RSE (reddish-pink, soft, exudative), RFN (reddish-pink, firm, non-exudative) und PFD (pale, firm, dry) bezeichnet (CHEAH et al., 1998).

Die Nachteile des PSE-Fleisches wie geringes Safthaltevermögen, weiche Konsistenz, verminderte Zartheit, Aromaarmut und hohe Verluste bei Lagerung, Zubereitung, Kochen und Braten, sind zwar gesundheitlich unbedenklich, widersprechen aber den Verbrauchererwartungen und führen zu einem Image-Verlust des Produkts. Zudem sind die Verarbeitungseigenschaften solchen Fleisches eingeschränkt (TROEGER und WOLTERS-DORF, 1989b; BREM und BRENIG, 1992; FISCHER, 1999; WENDT et al., 2000).

#### **2.5.4 Messverfahren zu Erfassung der Fleischqualität**

Die Fleischqualitätsparameter sind abhängig vom Messzeitpunkt p. m. sowie von der Messstelle, insbesondere die Abgrenzung zu Fleischqualitätsmängeln wie PSE- und DFD-Fleisch spielt eine wichtige Rolle.

##### **2.5.4.1 pH-Wert und Muskelkerntemperatur**

Die Bedeutung des pH-Werts beruht auf der Tatsache, dass er wichtige Qualitätsfaktoren des Fleisches wie Farbe, Zartheit, Geschmack und Haltbarkeit maßgeblich beeinflusst. Zudem sind Veränderungen der elektrischen Leitfähigkeit und Farbhelligkeit im Rahmen der Fleischreifung Folgerscheinungen des pH-Wert-Abfalls (HONIKEL, 1992; PETERS, 1996).

Die Messung des pH-Wertes 45-60 Minuten p. m. wird als geeignete Methode zur Erfassung von PSE-Eigenschaften unter Routinebedingungen angesehen (WENDT et al., 2000). Als beschleunigte Glykolyse (PSE-Fleisch) sind im M. longissimus dorsi pH-Werte  $< 5,6$ , im M. semimembranosus  $< 5,8$  in der AVVFIH (N.N., 2002b) definiert. Eine spätere Bestim-

mung erlaubt keine Differenzierung mehr (VON WENZLAWOWICZ et al., 1996).

End-pH-Werte  $\geq 6,2$  verweisen auf eine unvollständige Glykolyse, wie sie bei DFD-Fleisch vorkommt (N. N., 2002b). DFD-Fleisch ist zu einem früheren Zeitpunkt nicht zu erfassen, da der frühpostmortale pH-Wert sich von normalem Fleisch nicht unterscheidet (HONIKEL, 1992).

Die Messung des pH-Wertes ist temperaturabhängig. Aus diesem Grund muss die Temperaturmessung immer zusätzlich zur pH-Wert-Messung vorgenommen werden, um eine sichere Aussage zu erhalten (HONIKEL, 1992).

#### **2.5.4.2 Elektrische Leitfähigkeit**

45 Minuten p. m. schwanken die Leitfähigkeitswerte stark und sind somit nur beschränkt aussagekräftig. Es wird ein Messzeitraum von 3 bis 50 Stunden p. m. empfohlen (SACK und BRANSCHIED, 1990; VON WENZLAWOWICZ et al., 1996). Zur Abgrenzung von PSE-Merkmalen wurde ein oberer Grenzwert von 8 mS/cm für den M. longissimus dorsi bzw. M. semimembranosus 24 Stunden p. m. festgelegt (WENDT et al., 2000). LITTMANN und PESCHKE (1994) geben als oberen Grenzwert 10 mS/cm an, ab einem LF-Wert von 9,1 besteht PSE-Verdacht. DFD-Fleisch ist mit diesem Messverfahren nicht erkennbar (SCHWÄGELE, 1992).

#### **2.5.4.3 Farbhelligkeit und L\*a\*b\*-Farbwerte**

Das Göfo-Gerät (Fa. Schütt, Göttingen) bzw. das heute gebräuchlichere Opto-Star-Gerät (Fa. Matthäus, Pöttmes) erlauben über eine Reflexionsmessung nur die Bestimmung der Helligkeit, während das Chromameter (Fa. Minolta, Japan) eine umfassende Farbbeschreibung ermöglicht. MUSSMANN et al. (1994) und WENDT et al. (2000) empfehlen die Messung der Farbe am M. longissimus dorsi auf Höhe des 13./14. Brustwirbels 24 Stunden p. m.. Außerdem empfiehlt sich eine Dreifachmessung im lateralen, zentralen und dorsalen Bereich des Muskels. Welches der zur Verfügung stehenden Geräte (Göfo, Opto-Star, Chromameter CR 200)

benutzt wird, ist bei der Bestimmung der Fleischhelligkeit unerheblich, da deren Ergebnisse eine enge Korrelation aufweisen.

Die Helligkeitsmessung mittels Opto-Star wird im roten bzw. nahen infraroten Wellenlängenbereich vorgenommen. Das remittierte Licht wird gemessen und es können Werte von 0 (= gelb) bis 90 (= blau) erfasst werden (MUSSMANN et al., 1994). LITTMANN und PESCHKE (1994) definieren einen unteren Opto-Star-Grenzwert von  $< 55$ , ein PSE-Verdacht besteht bereits bei Werten zwischen 55 und 60. DFD-Fleisch weist Werte über 85 auf, ab 80 muss DFD in Betracht gezogen werden.

Das Chromameter mit dem  $L^*a^*b^*$ -Farbsystem der CIE (Commission Internationale de l'Éclairage = Internationale Lichtkommission), einem dreidimensionalen System von Buntton, Buntheit und Helligkeit folgt der menschlichen Farbwahrnehmung. Zur Messung bei Frischfleisch wird die Lichtart  $D_{65}$  verwendet. Die Probe wird mit der gewählten Lichtart diffus aus allen Raumwinkeln beleuchtet, wobei nur das senkrecht von der Messfläche reflektierte Licht der Farbanalyse zugeführt wird.  $L^*$  stellt die Schwarz-Weiß-Achse dar, ein  $L^*$ -Wert von 100 entspricht der Farbe weiß. Der  $a^*$ -Wert gibt den Rot- bzw. Grün-Anteil an. Je größer der Wert ist, umso höher ist der Rotanteil. Der  $b^*$ -Wert gibt den Gelb- bzw. Blau-Anteil der Probe wieder und steigt mit zunehmender Gelbfärbung an (SCHWÄGELE, 1992; MUSSMANN et al., 1994). SCHARNER et al. (1997) schlagen einen  $L^*$ -Wert  $\leq 36$  als Grenzwert für PSE-Eigenschaften 45 Minuten p. m. vor. Die Helligkeitswerte erhöhen sich in den ersten Stunden und Tagen nach der Schlachtung, sollten aber einen  $L^*$ -Wert von 56 nicht überschreiten (FELDHUSEN et al., 1987; MUSSMANN et al., 1994; KUHN et al., 2003). SCHWÄGELE (1992) hält einen  $L^*$ -Grenzwert von 55 für den M. longissimus dorsi und 50 für den M. semimembranosus für realistisch.

Zur Abgrenzung von Fleischqualitätsmängeln ist die Farbhelligkeitsmessung allein nicht aussagekräftig. Sie sollte mit weiteren Fleischqualitätsparametern wie pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit gekoppelt werden (MUSSMANN et al., 1994).

### 3 Eigene Untersuchungen

#### 3.1 Untersuchte Tiere und Methodik

##### 3.1.1 Untersuchte Tiere

Im Zeitraum von März bis Oktober 2004 wurden an 23 Schlachttagen 1835 Schweine im Rahmen dieser Untersuchung am EG-zugelassenen Versuchsschlachthof der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Grub geschlachtet.

##### 3.1.1.1 Rasse

Die Schweine kamen alle aus der Mastleistungsprüfung der LfL Grub, somit lagen Informationen zur Genetik (Rasse) jedes Einzeltieres vor. Durch die Identifizierung mittels Transponder konnte die Rasse festgestellt werden (Tab. 3.1).

Tab. 3.1: Anzahl der geschlachteten Tiere pro Rasse

Rasse	Abkürzungen	Anzahl
Deutsches Edelschwein	DE	55
Deutsche Landrasse - Sauenlinie	DLS	256
Pietrain	PI	223
Kreuzungen (Vater x Mutter)		
Deutsche Landrasse - Sauenlinie x Deutsches Edelschwein	DLS x DE	156
Deutsches Edelschwein x Deutsche Landrasse - Sauenlinie	DE x DLS	136
Pietrain x Deutsche Landrasse-Sauenlinie	PI x DLS	654
Pietrain x (Deutsches Edelschwein x Deutsche Landrasse - Sauenlinie)	PI x (DE x DLS)	355
Gesamtzahl		1835

### 3.1.1.2 MHS-Genotypen der Rasse Pietrain

Zur Bestimmung des MHS-Status wurde von reinrassigen Pietrain eine Gewebeprobe des Ohres entnommen und im Labor mittels SNP (single nucleotid polymorphism)-Analyse untersucht. Für die Bestimmung wurde die Methode des Restriktionsfragmentlängenpolymorphismus (RFLP) angewandt. Durch die SNP-Analyse konnten die Pietrain entsprechend ihres Genotyps als homozygot-dominant (NN), heterozygot-dominant (NP) oder homozygot-rezessiv (PP) eingeordnet werden. Bei 56 Tieren waren die Proben nicht auswertbar, d. h. von 167 der insgesamt 223 Pietrain lagen Daten über den MHS-Status vor (Tab. 3.2).

Tab. 3.2: MHS-Status der Rasse Pietrain

Genotyp	Anzahl	Anteil in %	Stressempfindlichkeit
NN	41	25	Stressstabil
NP	90	53	Mischerbig
PP	36	22	Stresslabil

*NN = Homozygot-dominant; NP = Heterozygot-dominant; PP = Homozygot-rezessiv*

### 3.1.2 Schlachtung

Die Schlachtung erfolgte im Alter von ca. 6 Monaten, wobei die weiblichen Schweine ungefähr ein Gewicht von 103 kg, die Kastraten ca. 105 kg erreicht hatten.

#### 3.1.2.1 Zutrieb

Da sich die Prüfstation in unmittelbarer Nähe des Schlachthauses befindet, konnten die Tiere zum Wartestall getrieben werden, so dass kein Transport notwendig war. Der Zutrieb aus dem Wartestall erfolgte über eine Sammelbucht und einen Einzeltreibgang, wobei der Zutriebsbereich sowohl zum Stall als auch zur Schlachthalle komplett räumlich und auch weitgehend akustisch abgetrennt war.

Die Tiere wurden ab 17 Uhr des Vortages genüchtert, so dass die Nüchterungszeiten bis zum Beginn der Schlachtung am nächsten Tag um 7 Uhr bei 14 Stunden lagen und bis zu 21 Stunden betragen konnten. Die Aus-

ruhzeiten variierten zwischen 1 h und 4 h. In den Warteboxen, in denen die Schweine in Gruppen bis zu 10 Tieren gehalten wurden, fand eine kontinuierliche Berieselung mit Wasser statt. Der Elektrotreiber wurde beim Zutrieb nur bei bewegungsverweigernden Schweinen, d. h. nur vereinzelt, eingesetzt.

### 3.1.2.2 Betäubung

Die Betäubung wurde in einer Einzeltierfalle mittels manueller elektrischer Kopf- und Kopf-Herz-Durchströmung vorgenommen. Für die Kopf-Durchströmung verwendete man eine pneumatische Betäubungszange, die Herzelektrode wurde manuell angelegt. An der Betäubungsfalle wurde jedes Einzeltier durch Auslesen eines Transponders identifiziert und es erfolgte die Zuteilung einer fortlaufenden Schlachtnummer.

#### 3.1.2.2.1 Kombinierte Gehirn-Herz-Durchströmung

Die Betäubung mit dem Verfahren einer asynchronen Gehirn-Herz-Durchströmung (Cardiac-Arrest-Stunning) bot nicht nur die Möglichkeit, die Entblutequalität durch ein relativ ruhiges Liegen der Schweine zu verbessern, sondern stellte auch sicher, dass ein Wiedererwachen bei funktionierender Herzelektrode nahezu ausgeschlossen werden konnte. Die Auskultation des Herzens nach der Betäubung zur Feststellung des Kammerflimmerns war aufgrund des hohen Geräuschpegels im Schlachthaus nicht möglich. Das Gerät FBT 2000/03-A (Fa. Fuhrmann, Neckargemünd) hatte für die routinemäßige Betäubung mittels asynchroner Gehirn-Herz-Durchströmung die in Tab. 3.3 dargestellten Einstellungen.

Tab. 3.3: *Betäubungsprogramm 3*

	Stromstärke konst.	Stromdauer	Frequenz
Kopf-Strom	1,3 A	2 sec	500 Hz
Kopf-Herz-Strom	1,1 A	5 sec	100 Hz
Spannung	variabel, max. 350 V		

### 3.1.2.2.2 Alleinige Gehirn-Durchströmung

Zehn Schweine wurden durch alleinige Kopf-Durchströmung betäubt. Die Einstellungen des Gerätes sind in Tab. 3.4 wiedergegeben.

Tab. 3.4: Betäubungsprogramm 6

	Stromstärke konst.	Stromdauer	Frequenz
Kopf-Strom	1,4 A	7 sec	500 Hz
Spannung	variabel, max. 350 V		

### 3.1.2.3 Entblutung

Nach Abschluss des Betäubungsvorganges rutschten die Tiere aus der Falle auf eine Lebedtierwaage. Das Wiegen dauerte in der Regel 5 Sekunden, dort wurde das Gewicht vor der Entblutung (Lebendgewicht) festgestellt. Nach Übergabe auf einen Entblutetisch wurden die Tiere mit einem Hohlmesser im Liegen entblutet, nach etwa 2 Minuten wurden die Tierkörper angeschlungen und auf die Rohrbahn aufgezogen. Vor dem Eingang des Brühltunnels wurde über eine Rohrbahnwaage das Gewicht der Tierkörper nach der Entblutung erfasst.

#### 3.1.2.3.1 Personal

Die Entblutung erfolgte im Liegen auf einem Tisch aus Edelstahlrohren und wurde von einem sehr geübten Mitarbeiter (Stecher A), an einigen Schlachttagen auch von einem wenig routinierten Mitarbeiter (Stecher B) durchgeführt. Es wurde ein Hohlmesser verwendet, die Schnittlänge des Entblutestichs variierte stark.

#### 3.1.2.3.2 Sofortiger Blutentzug nach Betäubung

Der sofortige Blutentzug nach kombinierter Gehirn-Herz-Durchströmung wurde bei 1707 Schweinen durchgeführt. Davon entblutete Stecher A 1165 Tiere, Stecher B 542 Tiere. 10 Tiere wurden nach alleiniger Gehirndurchströmung von Stecher A entblutet. Die Entblutung mit Durchtrennung

herznaher Gefäße erfolgte innerhalb von 15 Sekunden nach Betäubungsende.

#### 3.1.2.3.3 Verzögerter Blutentzug

118 mit Kopf-Herz-Durchströmung betäubte Tiere wurden verzögert entblutet. Die Entblutung begann erst 3 Minuten nach Beendigung des Betäubungsvorganges. Diese Zeitspanne wurde gewählt, da hier mit großer Sicherheit von einem aufgrund des Herzkammerflimmerns eingetretenen Kreislaufstillstands ausgegangen werden konnte, d. h. die Tiere waren zum Zeitpunkt des Stechens bereits tot. Die verzögerte Entblutung sollte hinsichtlich der Auswirkungen auf Stichblutmenge, Ausblutungsgrad und Fleischqualität untersucht werden.

Während die Tiere auf dem Entblutetisch lagen, wurde der Übergang vom Betäubungszustand in die Agonie bzw. in den Tod beobachtet.

#### 3.1.2.4 Weitere Schlachtschritte

Die Schlachtgeschwindigkeit betrug ca. 30 Schweine pro Stunde (Band-schlachtung). Der Brühvorgang erfolgte in einem Wasserbrühtunnel durch Besprühen mit Heißwasser für 10 Minuten, danach wurden die Schweine in einer Kratzmaschine entborstet sowie Augen, Ohrenausschnitte und Klauen entfernt. Zwischen Betäubung und dem Eröffnen der Bauchhöhle vergingen ca. 35 Minuten. Nach dem Ausschachten der Tierkörper und der amtlichen Fleischuntersuchung wurden die Lebern vom Geschlinge abgetrennt und das Lebergewicht ohne Gallenblase ermittelt. Vom gleichen Mitarbeiter wurde eine Probe der Zwerchfellmuskulatur für die spätere Hämoglobinbestimmung entnommen. Unmittelbar vor der Klassifizierung der Schlachttierkörper wurden ca. 45 Minuten p. m. die pH-Wert- und Temperaturmessungen von *M. semimembranosus* und *M. longissimus dorsi* durchgeführt.

Am Folgetag wurden - nach konventioneller Schnellkühlung der Schlachttierkörper - die für die Mastleistungsprüfung notwendigen Untersuchungen vorgenommen. Ergänzend wurden am Anschnitt des *M. longissimus dorsi*

L\*a\*b\*-Farbmessungen durchgeführt und bei der Rasse Pietrain Gewebeproben zur Bestimmung des MHS-Status entnommen.

### **3.1.3 Untersuchungskriterien**

#### **3.1.3.1 Reaktionen während und nach der Betäubung**

Die Reaktionen der Schweine während und nach dem Betäubungsvorgang wurden registriert. Die durch die Betäubung hervorgerufenen tonisch-klonischen Krämpfe des epileptiformen Anfalls sollten in ruhiges Liegen, das manchmal anfänglich von Schnappatmung begleitet wird, übergehen. Die Schweine wurden auf Symptome einer Rückkehr des Empfindungs- und Wahrnehmungsvermögens überprüft. Für den Fall eines möglichen Wiedererwachens stand ein Bolzenschussgerät bereit. Es sollte festgestellt werden, ob und wann der Tod durch das Hervorrufen von Herzkammerflimmern eintrat und keine Reflexe mehr auslösbar waren. Zudem sollte die Funktion der Herzelektrode überprüft werden.

#### **3.1.3.2 Reflexe und Reaktionen nach Entblutung**

Die Untersuchungen von 1564 Schweinen (143 Tiere wurden nicht erfasst) wurden direkt nach dem Aufziehen auf die Rohrbahn, d.h. zwei bis drei Minuten nach der Entblutung, durchgeführt.

##### **3.1.3.2.1 Hirnstammreflexe**

Zur Prüfung des Lid- und Kornealreflexes wurde mit einem stumpfen Gegenstand (Bleistiftende) die Hornhaut des Auges berührt. Reagierte das Schwein mit dem Schließen des Augenlids (Lidreflex), wurde ein positiver Kornealreflex vermerkt.

Bei der Prüfung der Atmungsaktivität wurde einmalige Schnappatmung nicht registriert. Schnappatmungen wurden mit Frequenz aufgezeichnet (Tab. 3.5). Regelmäßige Atmung wurde gesondert vermerkt. Schweine, die atmeten, wurden bis zum Eingang des Brühltunnels beobachtet. Dies entspricht einer Dauer von etwa 7-8 Minuten.

Tab. 3.5: Einteilung der Atmungsaktivität\*

Einmalige Schnappatmung	-
2-5 x Schnappatmung	+
6-10 x Schnappatmung	++
11-20 x Schnappatmung	+++
Regelmäßige Atmung	+++++

\* innerhalb von 7-8 Min. Untersuchungszeit

Die Überprüfung des Nasenscheidewandreflexes fand ausschließlich dann statt, wenn bereits der Kornealreflex positiv ausgefallen war. Dazu wurde mit einer Kanüle in das Septum nasi gestochen und dies im Fall einer Reaktion mit Abwehrbewegungen und Zurückziehen oder Schütteln des Kopfes als positiv notiert.

#### 3.1.3.2.2 Aktivität der Skelettmuskulatur

Es wurde zwischen den durch Spinalreflexe ausgelösten ungerichteten Laufbewegungen und willkürlichen Aktionen wie einseitigen Kopfbewegungen und einseitigem Hochziehen unterschieden. Bei letzteren wurden Intensität und Dauer notiert.

#### 3.1.3.2.3 Vokalisation

Es wurde auf gezielte Lautäußerungen während der Entblutung und beim Aufhängen geachtet. Grunzlaute, die eventuell nur durch Anschneiden der Trachea bei der Entblutung aufgrund von Schnappatmung zustande kamen, wurden nicht vermerkt.

#### 3.1.3.3 Blutmenge

Die pro Einzeltier entzogene Blutmenge wurde durch zwei Wägungen (Waagen der Fa. Data Scales, Bonn) automatisch erfasst und dem Datensatz des Tieres zugeordnet. Durch die Differenz der erfassten Gewichte von der schalenförmigen Lebendtierwaage nach Betäubung (Abb. 3.1) und der Rohrbahnwaage in der Nachentblutestrecke kurz vor dem Brühltunnel ergab sich der Blutverlust. Ebenso wurden die Zeitintervalle zwischen den beiden Waagen gespeichert. Die Zeit zwischen beiden Wägungen

gen betrug etwa 10 Minuten. Die Messgenauigkeit beider Waagen lag bei 200 g. Die ermittelte Stichblutmenge wurde auf das Lebendgewicht (in %) bezogen, d. h. auf das bei der ersten Wägung ermittelte Gewicht.



Abb. 3.1: Lebendtierwaage

### 3.1.3.4 Ausblutungsgrad

#### 3.1.3.4.1 Lebergewichte

Zur Bestimmung des Restblutgehaltes in den inneren Organen wurde die Leber als in vivo besonders blutreiches Organ ausgewählt. Die noch warmen Lebern (ohne Gallenblase) wurden am Schlachtband ohne Substanzverlust vom Geschlinge abgetrennt und auf einer digitalen Tischwaage (Wägegenauigkeit: 1 g) gewogen. Dabei wurde auch das Gewicht von Lebern erfasst, die nach dem Befund der amtlichen Fleischuntersuchung zu verwerfen waren. Das Gewicht wurde auf das Schlachtgewicht warm (in %) bezogen.

#### 3.1.3.4.2 Restblutgehalt der Muskulatur mit Hochdruckflüssigkeitschromatographie

Die Muskelproben von etwa 50 g aus den Zwerchfellpfeilern wurden jeweils am Schlachttag entnommen, außen mit Wasser abgespült, um oberflächliches Blut zu entfernen, einzeln in Plastikbeutel verpackt und bis zum Zeitpunkt der Bestimmung tiefgefroren. Diese Proben wurden von allen Tieren genommen. Für die Analyse wurden an einzelnen Schlachttagen

jeweils 10 Proben von Tieren ausgewählt, deren Stichblutmengen im Bereich zwischen 3 und 4 kg und zwischen 5 und 6 kg lagen. Bei den verzögert entbluteten Tieren wurden 82 Proben bestimmt, unabhängig von der Höhe des Blutverlustes. Insgesamt wurden 360 Proben untersucht. Bei Stecher A waren dies 185, bei Stecher B 93 Proben. Bei den unterschiedlichen Rassen wurde folgende Anzahl von Proben erfasst (Tab. 3.6):

Tab. 3.6: Rasseverteilung bei Hämoglobinbestimmung

Rasse	Anzahl der Zwerchfellproben
DE	11
DLS	49
PI	39
DLS x DE	39
DE x DLS	33
PI x DLS	121
PI x (DE x DLS)	68

Bei 23 Tieren der Rasse Pietrain war der Genotyp bekannt. Von stressstabilen Tieren wurden 3 Proben, von mischerbigen 13 und von stresslabilen 7 Proben genommen.

Für die Bestimmung des Hämoglobingehalts der Muskulatur mit Hochdruckflüssigkeitschromatografie wurde die Methode nach WOLTERSDORF et al. (2000) gewählt. Es wurden geringfügige Änderungen vorgenommen. Anstelle des Homogenisators Moulinette (Fa. Moulinex, Ecully Cedex, Frankreich) wurde das Gerät Grindomix GM 200 (Fa. Retsch, Haan) verwendet. Als UV-VIS-Detektor wurde das Modell HP 1050 eingesetzt und als automatischer Probengeber der Autosampler Model 717 plus (Waters Inc., Milford, USA). Beim Auftauen ausgetretener Fleischsaft wurde nicht wieder eingearbeitet. Das Einspritzvolumen des automatischen Probengebers betrug 5 µl.

Es ergab sich eine für die quantitative Hämoglobin-Bestimmung ausreichende Trennung von Hämoglobin- und Myoglobin-Peak. Die Chromatogramme (Abb. 3.2) wurden über die Peakflächen auf der Basis einer über

Standardlösungen erhaltenen linearen Regression ausgewertet. In manchen Fällen, besonders bei niedrigen Hb-Gehalten, wurde manuell nachintegriert (Software: Gynkosoft 5.5).

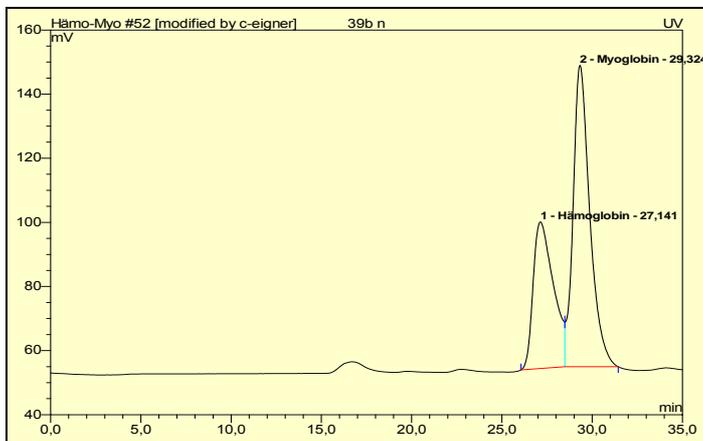


Abb. 3.2: Beispiel-Chromatogramm einer Hämoglobin-Bestimmung

### 3.1.3.5 Fleischqualität

Alle Messungen zur Fleischqualität, mit Ausnahme der pH<sub>1</sub>- und Muskelkern-temperaturmessung des M. semimembranosus, wurden an der rechten Schlachtkörperhälfte durchgeführt, an der die Schweine auch ange-schlungen waren. Tab. 3.7 gibt einen Überblick über die Durchführung der Messungen.

Tab. 3.7: Messkriterien der Fleischqualität

Messparameter	Messstelle	Messzeitpunkt	Gerät
pH <sub>1</sub> -Wert	M. longissimus dorsi	45 min p. m.	pH-Star (Fa. Matthäus, Pöttmes)
	M. semimembranosus		Portamess Typ 913 (Firma Knick, Berlin)
pH <sub>ULT</sub> -Wert	M. longissimus dorsi M. semimembranosus	24 h p. m.	pH-Star (Fa. Matthäus, Pöttmes)
Muskelkern- temperatur	M. semimembranosus	45 min p. m.	Testo 110 (Fa. Testo, Berlin)
Elektrische Leitfähigkeit	M. longissimus dorsi M. semimembranosus	24 h p. m.	LF-Star (Fa. Matthäus, Pöttmes)
L*a*b*-Wert	M. longissimus dorsi	24 h p. m.	Chromameter CR 200 (Fa. Minolta, Japan)
Opto-Star	M. longissimus dorsi	24 h p. m.	Opto-Star (Fa. Matthäus, Pöttmes)

#### 3.1.3.5.1 pH- und Temperaturmessung

Die pH<sub>1</sub>-Wert-Messungen wurden gemäß AVVFIH (N.N., 2002b) im M. semimembranosus kaudal der Beckensymphyse der linken Schlachtkör-

perhälfte mit dem Gerät Portamess Typ 913 (Firma Knick, Berlin) durchgeführt. Vor jeder Messreihe fand eine Kalibrierung mit Standardpufferlösungen (pH 4 und 7) statt. Die Bestimmung der Kerntemperatur des *M. semimembranosus* erfolgte mit dem Temperaturmessgerät Testo 110 (Fa. Testo, Berlin) (Fühlertyp 0613 2211/711). Der  $\text{pH}_1$ -Wert des *M. longissimus dorsi* wurde zwischen dem 13. und 14. Dornfortsatz der Brustwirbelsäule mit dem pH-Star (Fa. Matthäus, Pöttmes) gemessen. Diese Untersuchungen fanden 45 Minuten p. m. statt. Etwa 24 Stunden später – nach stiller Kühlung der Schlachtkörperhälften – wurde im frischen Kotelettanschnitt dorsal, zentral und ventral sowie an zwei verschiedenen Stellen im *M. semimembranosus* der  $\text{pH}_{\text{ULT}}$ -Wert ebenfalls mit dem pH-Star bestimmt.

#### 3.1.3.5.2 Messung der Leitfähigkeit

Die Leitfähigkeitswerte in mS/cm von *M. longissimus dorsi* und *M. semimembranosus* wurden ca. 24 Stunden p.m. mit dem LF-Star (Fa. Matthäus, Pöttmes) bestimmt. Am frisch angeschnittenen *M. longissimus dorsi* wurden auf Höhe der Dornfortsätze des 12. und 13. Brustwirbels die Elektroden bei standardisierter Tiefe eingestochen. Die Messungen im *M. semimembranosus* wurden analog durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, dass keine Einstichstellen vorheriger Messungen getroffen wurden, da ausgetretener Fleischsaft die Leitfähigkeit fälschlich erhöhen könnte.

#### 3.1.3.5.3 Messung der Farbhelligkeit und der $L^*a^*b^*$ -Werte

Die Farbhelligkeitsmessung am Anschnitt des *M. longissimus dorsi* wurde 24 p. m. mit dem Opto-Star (Fa. Matthäus, Pöttmes) als Doppelbestimmung durchgeführt. Der Wert nimmt mit zunehmender Helligkeit des Fleisches ab.

Die  $L^*a^*b^*$ -Farbmessung am *M. longissimus dorsi* wurde mit dem Chromameter CR 200 (Fa. Minolta, Japan) durchgeführt. Vor jeder Messperiode fand eine Kalibrierung mit einem Weißstandard (CIE-Normlichtart  $D_{65}$ ) statt.  $L^*$  ist der Helligkeitsfaktor, ein  $L^*$ -Wert von 100 charakterisiert die Farbe weiß, 0 die Farbe schwarz.  $a^*$  und  $b^*$  sind die Farbkoordinaten für den Rot- und Gelbanteil. Je positiver ein Wert ist, umso größer ist die Sät-

tigung der jeweiligen Farbe. Bei der Messung wurde unter standardisierter Beleuchtung photometrisch die Farbemission der Probe ermittelt. Es erfolgten drei Einzelmessungen an verschiedenen blutungs- und fettfreien Flächen des Anschnitts, aus denen der jeweilige Mittelwert gebildet wurde.

### 3.1.4 Versuchsgruppeneinteilung

Die geschlachteten Tiere wurden für die statistische Auswertung anhand der Dauer des Betäubungs-Stech-Intervalls und des die Entblutung ausführenden Mitarbeiters in Gruppen eingeteilt (Tab. 3.8).

Tab. 3.8: Versuchsgruppeneinteilung

Gruppe	1A	1B	2
	Sofortiger Blutentzug nach Cardiac-Arrest-Stunning		Verzögerter Blutentzug nach Cardiac-Arrest-Stunning
Anzahl n	1707		118
Stecher	A	B	A
Anzahl n	1165	542	

Stecher A: sehr geübt; Stecher B: wenig routiniert

#### 3.1.4.1 Betäubungs-Stech-Intervall

Der Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls auf die Fleischqualität sollte bei einem Vergleich der Gruppen mit sofortiger und verzögerter Entblutung ermittelt werden. Um Einflüsse des Stechers auszuschließen, wurde Gruppe 2 nur mit den von Stecher A entbluteten Schweinen aus Gruppe 1 (Gruppe 1A) verglichen. Um negative Auswirkungen der Rasse Pietrain auf Entblutungs- und Fleischqualitätsparameter auszuschließen, wurde auf ein konstantes Verhältnis zwischen Rassen mit und ohne Pietrain-Einfluss innerhalb der Gruppen geachtet. Bei Gruppe 2 stimmte das Verhältnis der Rasse Pietrain und deren Kreuzungen zu den Rassen DE und DLS und den Kreuzungen DE x DLS und DLS x DE (Pietrain-Anteil: 67 %) mit Gruppe 1A (67 %) überein.

#### **3.1.4.2 Personaleinfluss**

Innerhalb Gruppe 1 sollten die beiden Stecher A (erfahren) und B (ungeübt) verglichen und die Auswirkungen der Entblutequalität auf eine tierschutzgerechte Schlachtung der Tiere sowie deren Ausblutungsgrad und Fleischbeschaffenheit festgestellt werden.

Die Rassenverteilung war bei beiden Stechern nahezu identisch. Der Pietrain-Anteil lag bei Stecher A bei 67 %, bei Stecher B betrug dieser 68 %.

#### **3.1.4.3 Betäubungsverfahren**

Die 10 Tiere, die nur mit Kopf-Durchströmung betäubt wurden, wurden aufgrund der geringen Anzahl nicht in die statistische Auswertung miteinbezogen, da hier keine signifikanten Aussagen zu erwarten waren. Bei diesen Schweinen wurden ausschließlich die Beobachtungen bei der Betäubung und Entblutung sowie die notwendigen Nachbetäubungen dargestellt.

#### **3.1.5 Datenmanagement und statistische Verfahren**

Die Datenverwaltung wurde mit dem Programm Excel 2000 von Microsoft durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS Version 13.0. Die in den Testergebnissen errechnete Irrtumswahrscheinlichkeit wird als p-Wert angegeben. Als Signifikanzniveau wurde  $p \leq 0,05$  festgelegt. Die Korrelationen wurden nach dem Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten berechnet. Zur Prüfung auf Signifikanz der Unterschiede wurde der für ungleiche Gruppenumfänge geeignete, konservative Schéfé-Test verwendet. Für die Beurteilung der Unterschiede zwischen zwei relativen Häufigkeiten wurde der Chi-Quadrat-Test nach Pearson eingesetzt (BAUER, 1984).

## **3.2 Ergebnisse**

### **3.2.1 Tierschutzrelevante Beobachtungen**

#### **3.2.1.1 Während und nach der Betäubung**

##### **3.2.1.1.1 Kombinierte Gehirn-Herz-Durchströmung**

Die Tiere zeigten bei der elektrischen Betäubung mit Herz-Durchströmung das typische Verhaltensmuster während eines epileptiformen Anfalls vom Typ „Grand Mal“. Während der Stromflussdauer erstarrten die Tiere, wobei die Vordergliedmaßen gestreckt, die Hintergliedmaßen unter den Bauch gezogen und der Kopf in den Nacken geworfen wurde. Nach Beendigung des Stromflusses folgte eine tonische Phase, in der die Tiere steif lagen und keine regelmäßige Atmung zeigten. In der sich anschließenden klonischen Phase entspannten sich die Tiere und reagierten mit unkoordinierter Motorik wie paddelnden Gliedmaßenbewegungen oder einzelnen Tritten. Sowohl die tonische als auch die klonische Phase fielen in Einzelfällen aus. Spontaner Lidschluss und Nystagmus traten bei der Mehrzahl der Tiere auf. Beim sofortigen Blutentzug nach Cardiac-Arrest-Stunning konnten die Tiere in den meisten Fällen noch vor dem Eintreten in die klonische Phase, d. h. in der tonischen Phase gestochen werden, was die Durchführung des Entbluteschnitts erleichterte. Durch den Blutdruckabfall und die Hypoxie des Gehirns aufgrund des Blutentzugs lagen die Tiere nach dem Ende der klonischen Phase völlig ruhig, gelegentlich trat Schnappatmung auf.

Nach dem sofortigen Blutentzug war bei 2 von 1707 Tieren ( $n = 0,1 \%$ ) eine Nachbetäubung mittels Bolzenschussgerät erforderlich. Neben positiven Korneal- und Nasenscheidewandreflexen zeigten diese Tiere zusätzliche Reaktionen, die darauf schließen ließen, dass sie nicht ordnungsgemäß betäubt waren. Ein Schwein reagierte auf Berührung der Beine mit starker Gliedmaßenmotorik und bei Annäherung der Hand zum Auge wurde der Drohreflex (Lidschluss), d. h. eine Reaktion, die auf Wahrneh-

mungsfähigkeit schließen lässt, ausgelöst. Beim zweiten Schwein fiel der Drohreflex ebenfalls positiv aus, regelmäßige Atmung war erkennbar und starke Abwehrbewegungen konnten durch Berührung ausgelöst werden. Selbst nach der Nachbetäubung per Bolzenschussgerät reagierte dieses Tier noch positiv bei der Überprüfung des Kornealreflexes. Dieser verschwand jedoch bald und es waren keine Anzeichen für Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit mehr feststellbar.

Bei den verzögert (3 Minuten) entbluteten Schweinen trat der Blutdruckabfall durch das ausgelöste Herzkammerflimmern ein. Der Übergang der klonischen Phase in die Phase der Agonie mit völlig ruhigem Liegen der Tiere und schließlich in den Tod wies auf eine funktionierende Herzelektrode und die Irreversibilität der Betäubung hin. Nach 2 Minuten waren im Regelfall keine Reflexe mehr feststellbar und die Pupillen geweitet und reaktionslos. Bei einigen Schweinen kam es kurzzeitig zu einer Rückkehr von Reflexen innerhalb dieser Zeitspanne, die wieder verschwanden, ohne dass die Schweine nachbetäubt werden mussten. Der Kreislaufstillstand zeigte sich auch bei der nun folgenden Entblutung, bei der das Blut mit geringerem Druck als beim sofortigen Blutentzug aus der Stichwunde floss.

Beim verzögerten Blutentzug konnte bei 3 % der Schweine nicht ausgeschlossen werden, dass es zu einer Rückkehr zum normalen Herzrhythmus gekommen war. Sie zeigten innerhalb der Zeitspanne von 3 Minuten vor dem Entblutestich Symptome des Wiedererwachens (positiver Kornealreflex, positiver Nasenscheidewandreflex, Einsetzen regelmäßiger Atmung). Die Nachbetäubung erfolgte mittels eines Bolzenschussgerätes.

#### 3.2.1.1.2 Alleinige Gehirn-Durchströmung

Der Versuch, 10 Schweine ausschließlich mit Kopf-Durchströmung zu betäuben, ergab, dass aus Gründen des Tierschutzes sowie für eine angemessene Sicherung der Entblutequalität eine zusätzliche Herz-Durchströmung notwendig ist. Wegen der starken Krampfbewegungen wurde das Stechen erheblich erschwert. Auch nach der Entblutung lagen

die Tiere häufig noch lange stark zappelnd auf dem Entblutetisch. Zudem machte die Möglichkeit einer ungenügenden Entblutung eine permanente Überwachung der Tiere notwendig. 4 Schweine mussten nach der Entblutung mit einem Bolzenschussgerät nachbetäubt werden, da deutlich wurde, dass Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit trotz des eintretenden Blutverlustes nicht gewährleistet waren. Ein Schwein zeigte nach dem Stechen Aufstehversuche und es konnte trotz Nachbetäubung per Bolzenschussgerät nach dem Anschlingen und Aufziehen auf die Rohrbahn noch willkürliche Motorik, die sich in einseitigem Hochziehen zeigte, beobachtet werden. Die Reaktionen der Schweine zeigen, dass eine elektrische Kopf-Durchströmung von Schlachtschweinen mit höherfrequentem Strom (500 Hz) keine aus Sicht des Tierschutzes ausreichende bzw. ausreichend lange Empfindungs- und Wahrnehmungslosigkeit hervorruft.

### 3.2.1.2 Nach der Entblutung (Reflexe und Reaktionen)

13 % der sofort entbluteten Tiere zeigten einen oder mehrere positive Reflexe oder Reaktionen etwa 3 Minuten nach dem Entbluteschnitt bzw. nach Betäubungsende (Abb. 3.3).

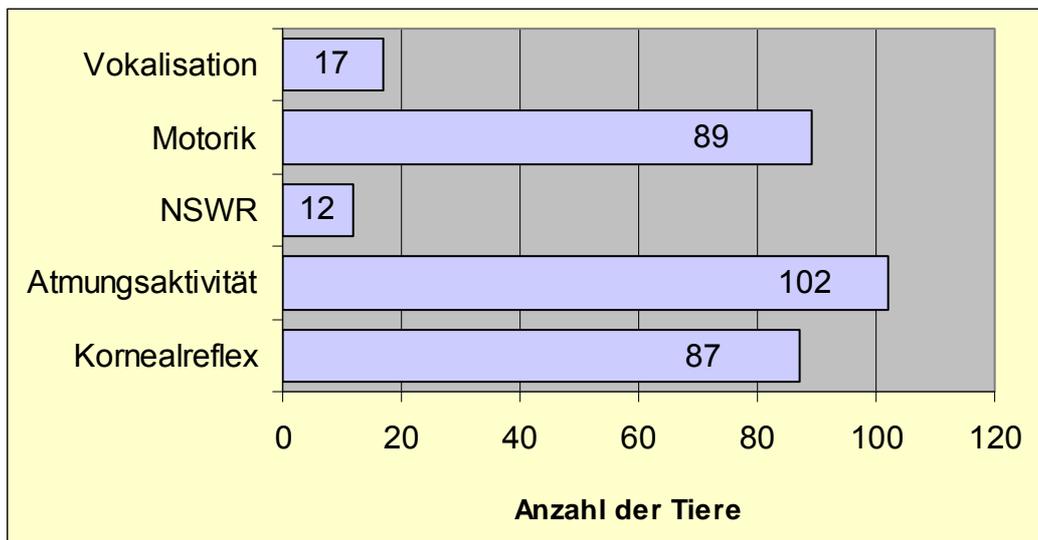


Abb. 3.3: Anzahl von Tieren mit Reflexen und Reaktionen auf der Nachentblutestrecke (NSWR: Nasenscheidewandreflex)

### 3.2.1.2.1 Hirnstammreflexe

Bei 6 % der Schweine in Gruppe 1 (sofortiger Blutentzug) wurde ein positiver Lid- und Kornealreflex festgestellt. Die Überprüfung des Nasenscheidewandreflexes bei den Tieren mit positivem Lid- und Kornealreflex in Gruppe 1 lieferte bei 14 % der Tiere positive Ergebnisse. 7 % der untersuchten Schweine zeigten Schnappatmung. Die Häufigkeit der Atmungsaktionen gibt die nachfolgende Abbildung wieder (Abb. 3.4). Nur ein Schwein zeigte noch nach dem Aufziehen auf die Rohrbahn regelmäßige Atmung.

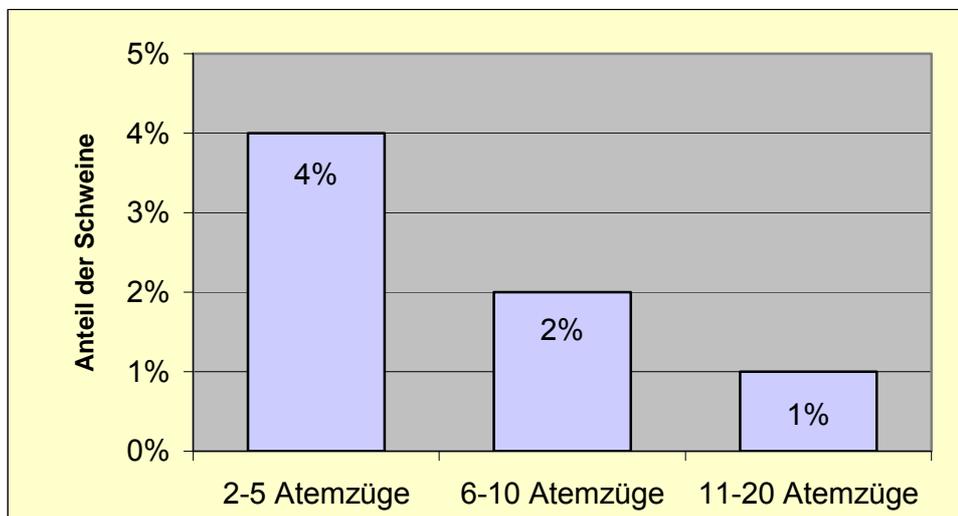


Abb. 3.4: Anteil der Schweine in % auf der Nachentblutestrecke, eingeteilt nach unterschiedlicher Schnappatmungsfrequenz

Ein hochsignifikanter Zusammenhang ( $\chi^2 = 852$ ) trat zwischen Kornealreflex und Atmungsaktivität auf (Tab. 3.9). So zeigten 82 % der Tiere mit positivem Lid- und Kornealreflex auch Atmungsaktivität, während bei Ausfall dieser Reflexe nur 2 % Atmung zeigten.

Tab. 3.9: Zusammenhang zwischen Kornealreflex und Atmungsaktivität

	KR +	KR -	Summe
Atmungsaktivität	5 %	2 %	7 %
Keine Atmungsaktivität	1 %	92 %	93 %
Summe	6 %	94 %	100%

KR +: positiver Kornealreflex; KR -: negativer Kornealreflex

Ebenfalls hochsignifikant war die Beziehung zwischen Nasenscheidewandreflex und Schnappatmung ( $\chi^2 = 189$ ). Alle Tiere mit positivem Nasenscheidewandreflex ( $n = 12$ ) zeigten Schnappatmung.

#### 3.2.1.2.2 Aktivität der Skelettmuskulatur

6 % der untersuchten Tiere zeigten stärkere Muskelaktivitäten, wobei diese bei 8 % dieser Schweine ( $n = 7$ ) sehr ausgeprägt und durch einseitiges Hochziehen an der Rohrbahn, Kopfbewegungen sowie koordinierte Laufbewegungen gekennzeichnet waren. Die Abgrenzung von durch spinale Reflexe ausgelösten Muskelbewegungen war jedoch in einigen Fällen schwierig. 17 % der Schweine, die Eigenmotorik zeigten, wiesen positive Lid- und Kornealreflexe auf, dagegen waren dies bei der Gruppe ohne Eigenmotorik lediglich 5 %. Zwischen der Aktivität der Skelettmuskulatur und dem Nasenscheidewandreflex trat ebenfalls ein signifikanter Zusammenhang ( $\chi^2 = 26$ ) auf. 25 % der Tiere mit positivem Nasenscheidewandreflex ( $n = 3$ ) zeigten willkürliche Motorik. Auch der Zusammenhang zwischen Schnappatmung und motorischer Aktivität war signifikant ( $\chi^2 = 29$ ). Bei 20 % der Tiere mit Motorik konnte zusätzlich Schnappatmung beobachtet werden.

#### 3.2.1.2.3 Vokalisation

Die Beurteilung von Lautäußerungen der Tiere war in einigen Fällen schwierig. Die Unterscheidung von willkürlicher Vokalisation zu den durch Stichverletzungen der Trachea ausgelösten Rasselgeräuschen, die Grunzlauten ähneln, stellte ein Problem dar. Bei 1 % der untersuchten Schweine waren offensichtlich willkürliche Lautäußerungen (Quieken, Jammern) nach dem Anschlingen und Aufziehen auf die Rohrbahn wahrnehmbar.

Vokalisation war mit Atmungsaktivität signifikant assoziiert ( $\chi^2 = 8$ ). 24 % der Tiere mit Lautäußerungen zeigten ebenfalls Schnappatmung.

### 3.2.2 Entblutungserfolg (Stichblutmenge)

Bei den Tieren der Gruppe 1 (sofortiger Blutentzug) konnte eine mittlere relative Stichblutmenge von 4,25 % (Standardabweichung  $s = 0,91$ ) ermittelt werden. Diese Gruppe wurde nach der Menge des Blutverlustes in Prozent des Lebendgewichts in Untergruppen eingeteilt (Abb. 3.5). Die Werte waren annähernd normal verteilt. Bei der überwiegenden Mehrzahl der Schweine (78 %) lag die entzogene Blutmenge zwischen 3 bis 5 % des Lebendgewichts. Bei 24 der geschlachteten Tiere konnte die Stichblutmenge nicht festgehalten werden.

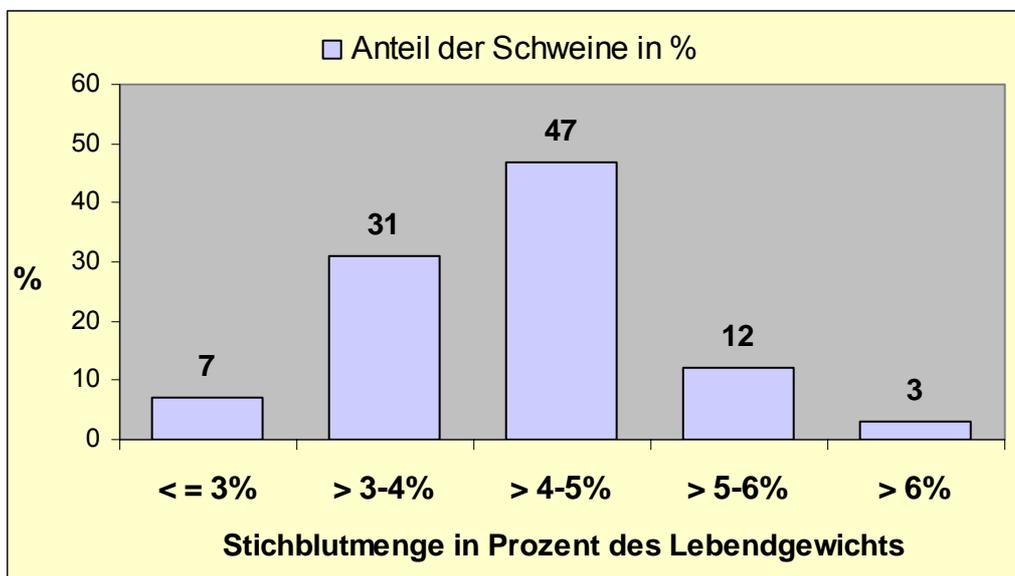


Abb. 3.5: Häufigkeit verschiedener Stichblutmengen

#### 3.2.2.1 Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls

Bei Gruppe 1A (sofortiger Blutentzug, Stecher A) konnte ein arithmetischer Mittelwert des relativen Blutverlustes von 4,30 % ( $s = 0,92$ ) gemessen werden. Zwischen den Gruppen mit verzögertem und sofortigem Blutentzug konnte lediglich ein tendenzieller Unterschied festgestellt werden (Abb. 3.6). Der arithmetische Mittelwert in Gruppe 2 (verzögerte Entblutung, Stecher A) betrug 4,14 % des Lebendgewichts ( $s = 0,95$ ) und war somit etwas geringer, auch wenn die Differenz von 4 % statistisch nicht zu sichern war.

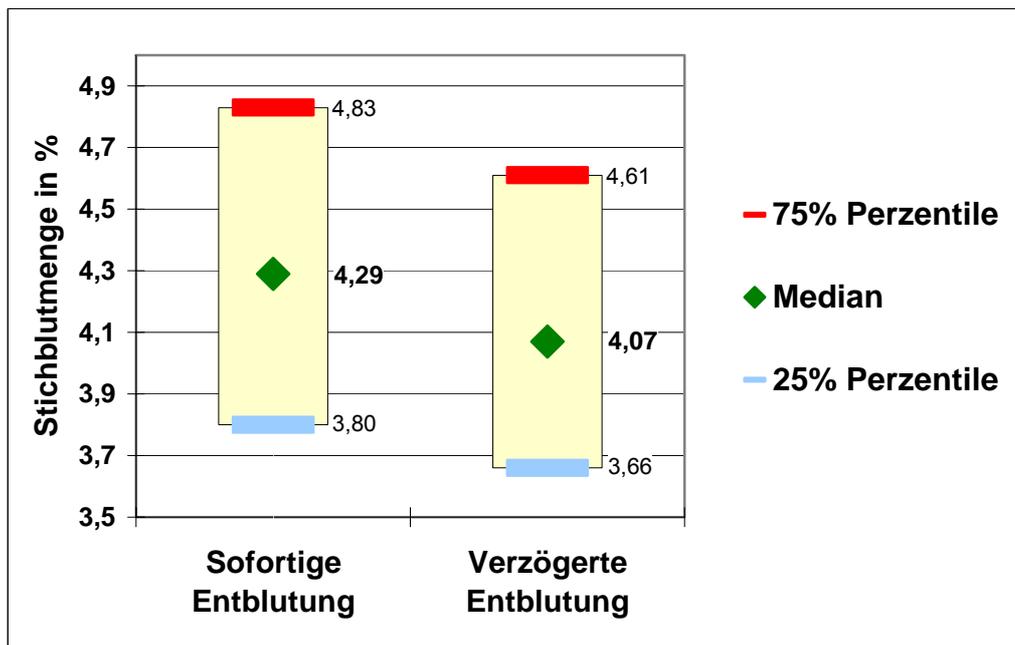


Abb. 3.6: Stichblutmenge in % des Lebendgewichts bei den Gruppen 1A und 2

### 3.2.2.2 Personaleinfluss

Es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Stichblutmengen beider Stecher (Abb. 3.7). Stecher A erzielte mit 4,30 % ( $s = 0,92$ ) des Lebendgewichts einen um 3,4 % höheren Blutertrag als Stecher B (4,16 %;  $s = 0,88$ ).

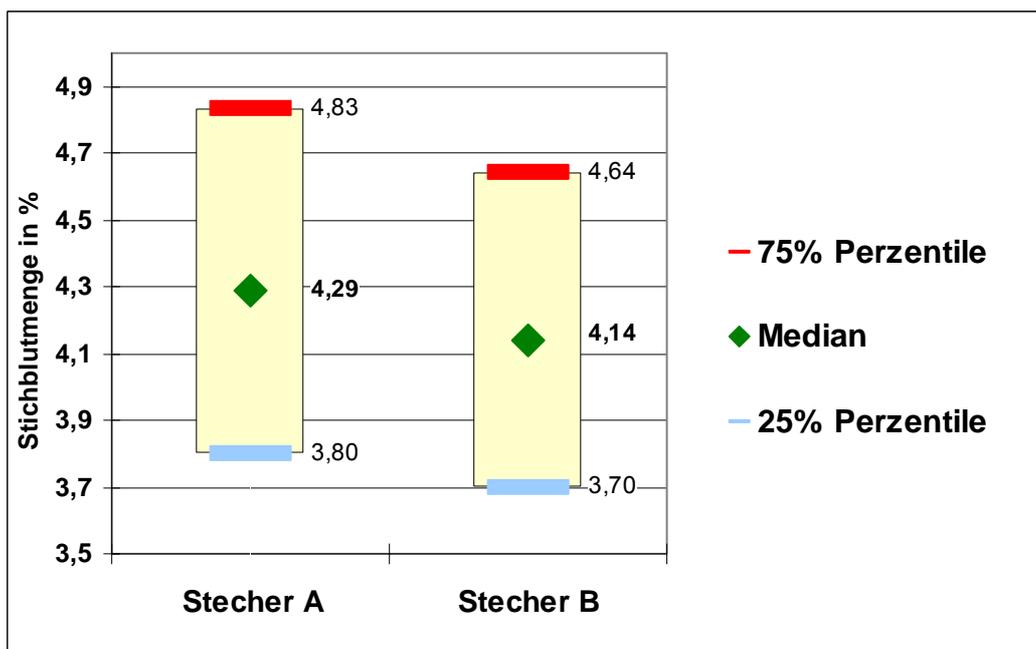


Abb. 3.7: Relative Stichblutmengen bei der Entblutung durch Stecher A und B

### 3.2.2.3 Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp

Reinrassige Pietrain hatten im Vergleich zu DLS und DE x DLS den signifikant niedrigeren relativen Blutverlust. Die Unterschiede zwischen den übrigen Rassen waren nicht signifikant (Abb. 3.8).

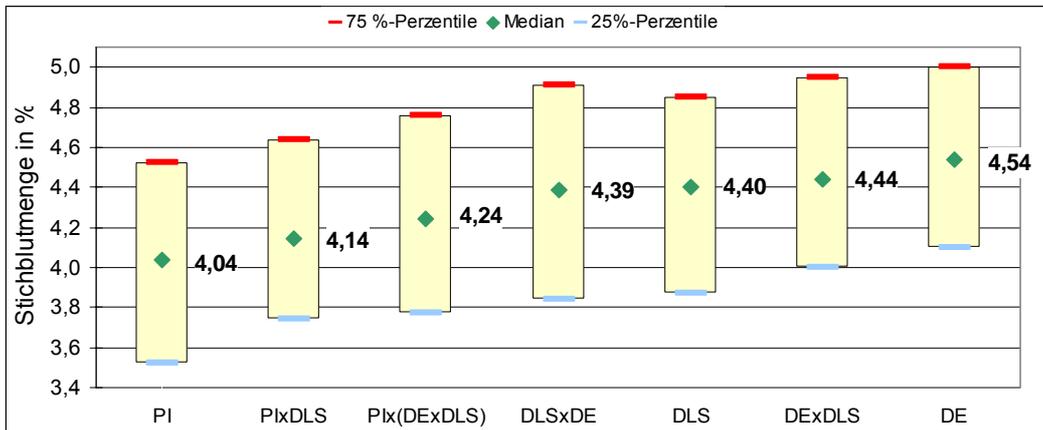


Abb. 3.8: Relative Stichblutmenge aller Rassen bzw. Kreuzungen

Zwischen den verschiedenen Genotypen der Pietrain-Schweine gab es keine signifikanten Unterschiede, auch wenn die relative Stichblutmenge bei stressstabilen Schweinen (NN) über den bei mischerbigen (NP) und stresslabilen (PP) gemessenen Mengen lag (Abb. 3.9).

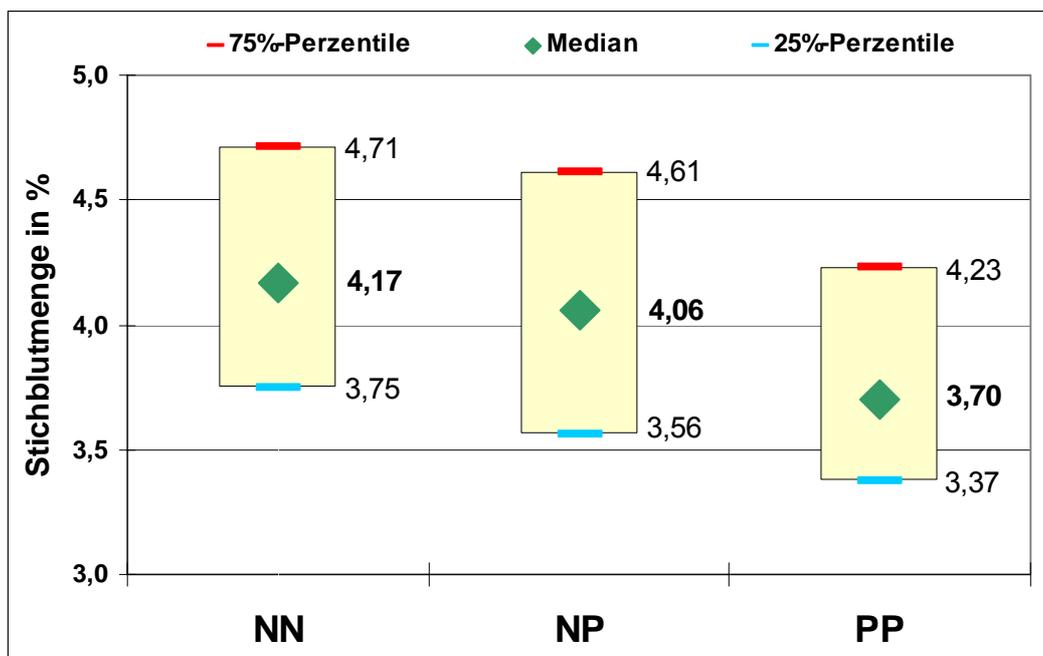


Abb. 3.9: Relative Stichblutmenge aller Genotypen der Rasse Pietrain (NN: homozygot-stressstabil; NP: mischerbig; PP: homozygot-stressempfindlich)

### 3.2.3 Ausblutungsgrad

#### 3.2.3.1 Lebergewicht

##### 3.2.3.1.1 Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls

Die relativen Lebergewichte zeigten zwischen Gruppe 1A und 2 signifikante Unterschiede. Die Lebern nach verzögerter Entblutung wogen durchschnittlich 6 % mehr (arithmetischer Mittelwert: Gruppe 1A: 2,00 %; Gruppe 2: 2,12 %; Abb. 3.10).

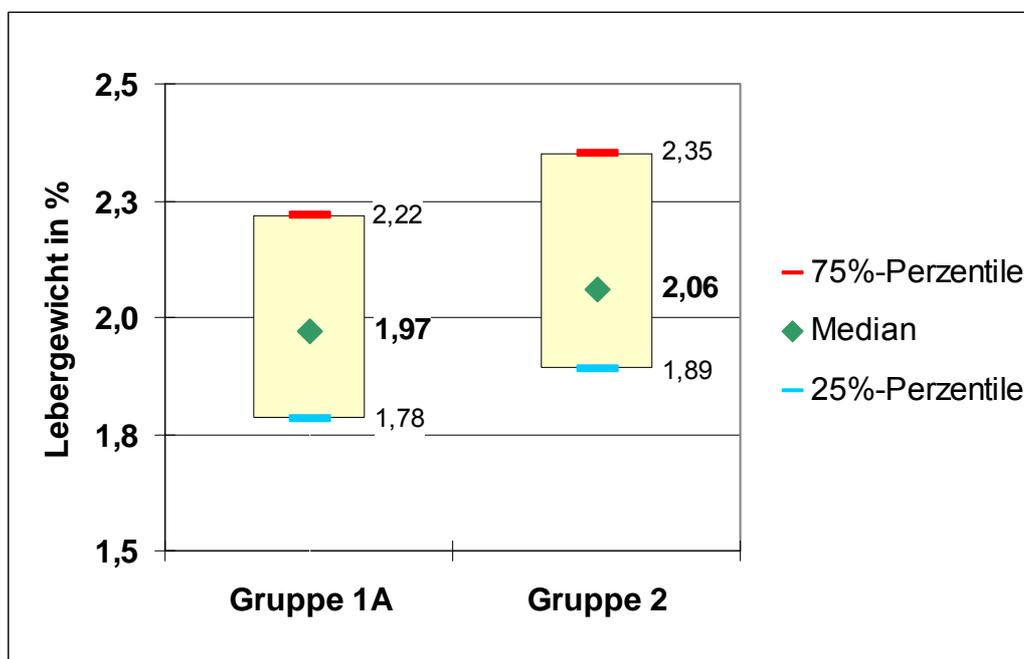


Abb. 3.10: Lebergewicht in Prozent des Schlachtgewichts bei Gruppe 1A (sofortiger Blutentzug) und 2 (verzögerter Blutentzug)

##### 3.2.3.1.2 Einfluss des Entbluteerfolges

Bei den weniger effektiv entbluteten Schweinen (Stecher B) war mit 2,06 % ein signifikant höheres Lebergewicht in Prozent des Schlachtgewichtes festzustellen (Abb. 3.11). Im Durchschnitt betrug dieses 3 % mehr als bei der effektiveren Entblutung durch Stecher A (2,0 %).

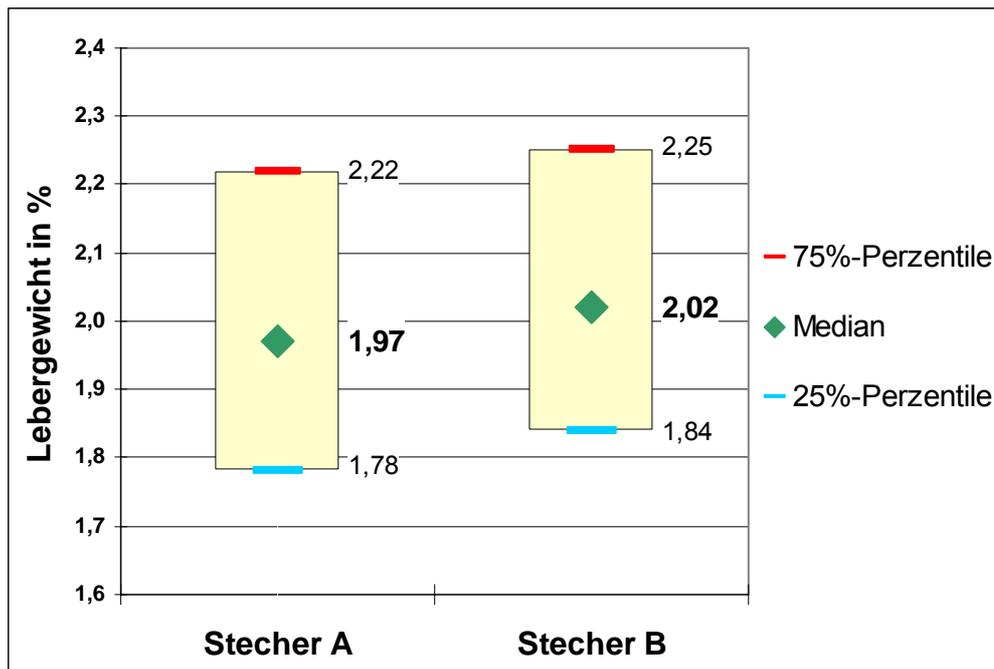


Abb. 3.11: Lebergewicht in % des Schlachtgewicht bei den von Stecher A und B entbluteten Schweinen

### 3.2.3.1.3 Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp

Die Lebern der reinrassigen Pietrainschweine hatten im Vergleich zu allen anderen Rassen und Kreuzungen mit 1,80 % das signifikant niedrigste relative Lebergewicht, ebenso unterschieden sich alle Pietrain-Kreuzungen (PI x DLS: 1,92 %; PI x (DE x DLS): 1,97 %) zu DLS x DE (2,26 %), DE x DLS (2,28 %), DLS (2,27 %) und DE (2,21 %), die signifikant höhere relative Lebergewichte aufwiesen (Abb. 3.12).

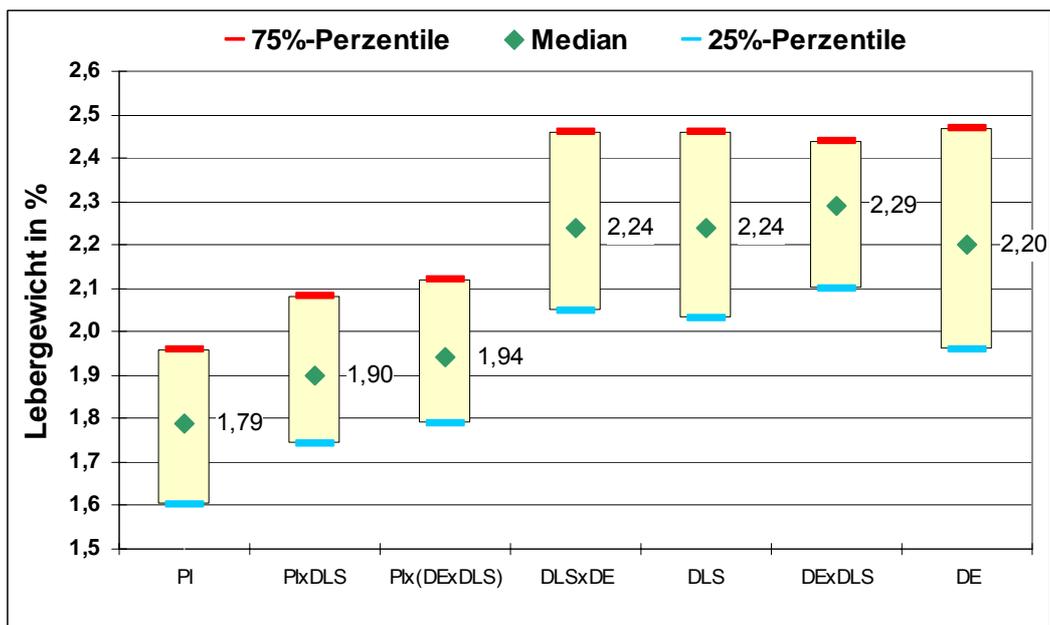


Abb. 3.12: Relatives Lebergewicht bei allen Rassen und Kreuzungen

Die Einteilung der Pietrain-Schweine in ihre Genotypen lieferte signifikante Unterschiede zwischen dem reinerbigen stressstabilen (NN) und mischerbigen (NP) sowie dem stressempfindlichen MHS-Genotyp (PP) (Abb. 3.13). Der arithmetische Mittelwert des relativen Lebergewichts war bei NN mit 1,86 % und bei NP mit 1,80 % signifikant höher als bei PP (1,65 %).

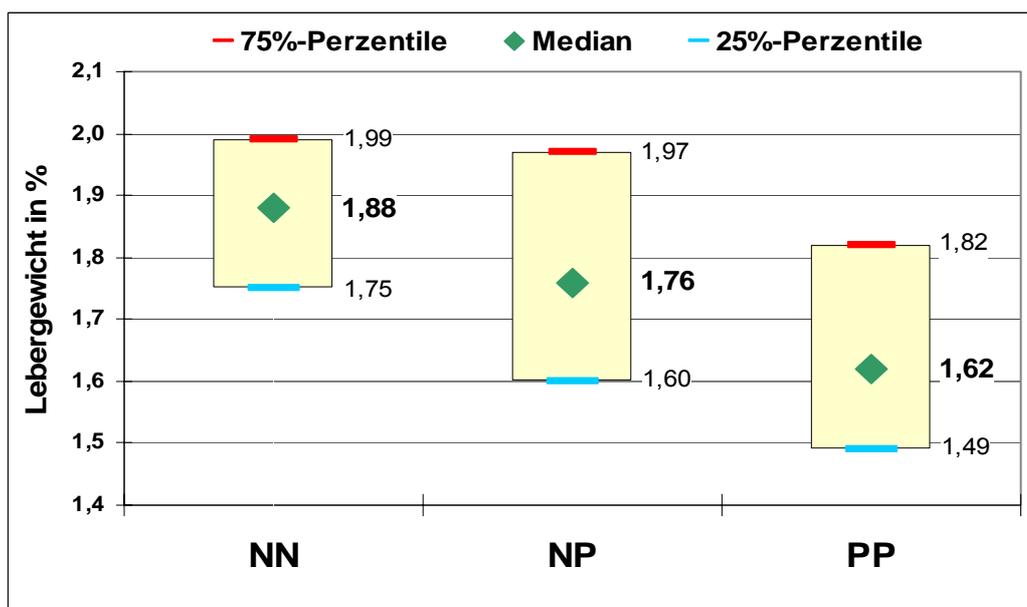


Abb. 3.13: Relatives Lebergewicht bei den Genotypen der Rasse Pietrain (NN: stressstabil; NP: mischerbig; PP: stressempfindlich)

### 3.2.3.2 Restblutgehalt der Muskulatur

#### 3.2.3.2.1 Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls

Die zwischen Betäubung und Entblutung liegende Zeitspanne hatte Einfluss auf den Hämoglobingehalt der Muskulatur. So lagen die arithmetischen Mittelwerte bei den verzögert entbluteten Tieren (2,47 mg/g;  $s = 0,47$ ) signifikant über denen der Gruppe 1A mit sofortiger Entblutung (2,30 mg/g;  $s = 0,44$ ) (Abb. 3.14).

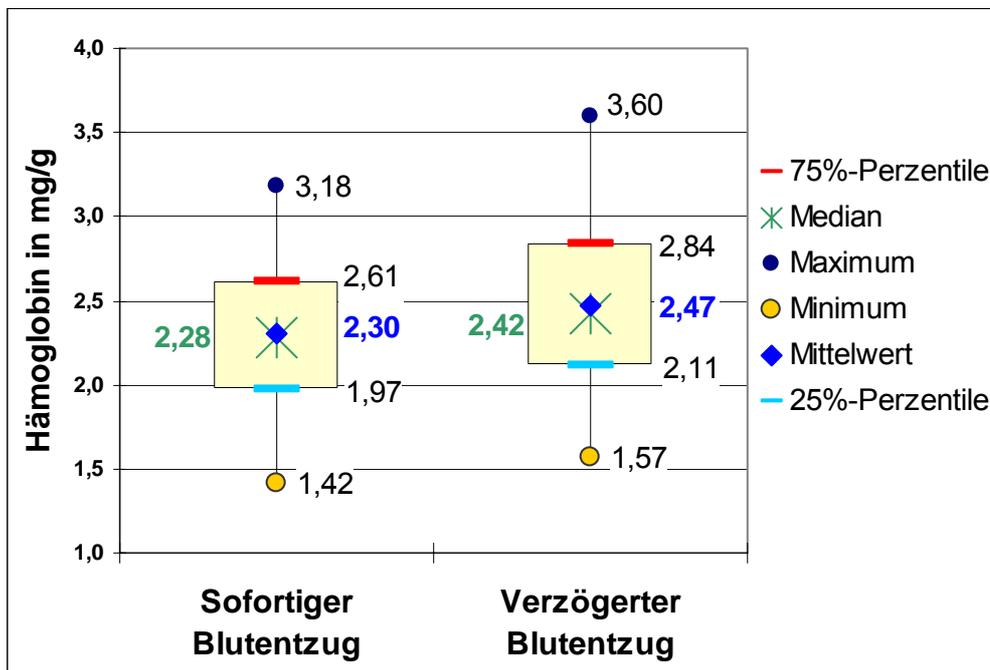


Abb. 3.14: Hämoglobingehalte in der Zwerchfellmuskulatur bei Gruppe 1A (sofortiger Blutentzug) und 2 (verzögerter Blutentzug)

#### 3.2.3.2.2 Einfluss des Entbluteerfolges

Zwischen den beiden Stechern war kein signifikanter Unterschied des Hämoglobingehaltes in der Zwerchfellmuskulatur feststellbar, lediglich der Maximalwert lag bei dem ungeübteren Stecher (B) höher (Abb. 3.15).

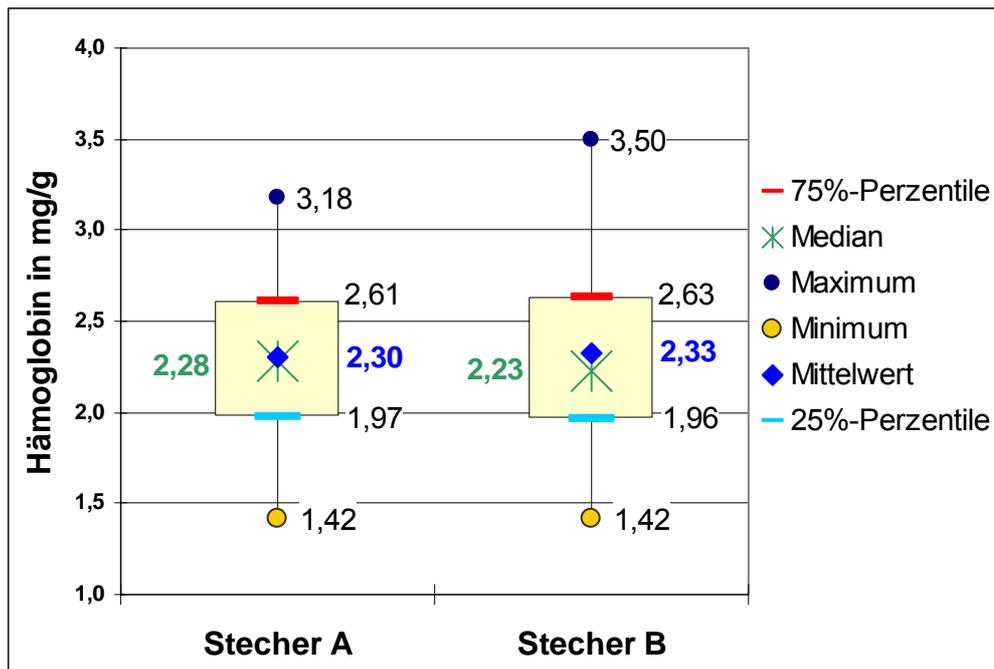


Abb. 3.15: Hämoglobingehalte in der Zwerchfellmuskulatur in Abhängigkeit des Personalfaktors

### 3.2.3.2.3 Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp

Die Hämoglobingehalte der einzelnen Rassen unterschieden sich nicht signifikant. Die arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen zeigt Tab. 3.10.

Tab. 3.10: Hämoglobingehalte der Muskulatur aller Rassen

Rasse	Hämoglobingehalt in mg/g	Standardabweichung s
DE	2,52	0,47
DLS	2,28	0,38
DE x DLS	2,26	0,47
DLS x DE	2,40	0,41
PI	2,38	0,44
PI x DLS	2,36	0,48
PI x (DE x DLS)	2,33	0,50

Auch bezüglich der MHS-Genotypen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Der stressresistente Genotyp NN hatte mit einem Hämoglobingehalt von 2,16 mg/g die niedrigsten Werte (NP (Mischtyp): 2,22 mg/g; PP (stressempfindlich): 2,64 mg/g).

### **3.2.4 Fleischqualität**

#### **3.2.4.1 pH-Wert, Muskelkerntemperatur und Leitfähigkeit**

##### **3.2.4.1.1 Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls**

Der arithmetische Mittelwert des  $\text{pH}_1$ -Werts des *M. longissimus dorsi* lag bei der Gruppe mit verzögerter Entblutung signifikant unter dem bei der Gruppe mit sofortiger Entblutung ermittelten Wert. Er betrug bei Gruppe 2 6,35, bei Gruppe 1A 6,45. Der bei Gruppe 1A im *M. semimembranosus* gemessene pH-Wert lag 45 Minuten p. m. bei 6,54 und damit geringfügig, aber nicht signifikant über dem  $\text{pH}_1$ -Wert der Gruppe 2 (6,50).

Die im *M. semimembranosus* ermittelte Kerntemperatur von Gruppe 2 war im Vergleich zu Gruppe 1A nicht signifikant erhöht. Sie betrug bei den verzögert entbluteten 40,96 °C, bei den sofort entbluteten Tieren 40,84 °C.

Die  $\text{pH}_{\text{ULT}}$ -Werte von *M. longissimus dorsi* und *M. semimembranosus* waren bei der Gruppe mit verzögerter Entblutung im Vergleich mit der sofort entbluteten Gruppe signifikant erhöht. Die  $\text{pH}_{\text{ULT}}$ -Werte des *M. longissimus dorsi* lagen bei Gruppe 2 im Mittel bei 5,52 und wiesen somit gering aber signifikant höhere Werte im Vergleich zu Gruppe 1A mit einem  $\text{pH}_{\text{ULT}}$ -Wert von 5,50 auf. Ähnliche Verhältnisse traten beim  $\text{pH}_{\text{ULT}}$ -Wert des *M. semimembranosus* auf (Gruppe 2: 5,71; Gruppe 1A: 5,64).

Bei Betrachtung des  $\text{LF}_{24}$ -Werts traten zwischen den Gruppen 1A und 2 keine signifikanten Unterschiede auf, tendenziell war die Leitfähigkeit bei verzögerter Entblutung niedriger (Tab. 3.11).

Tab. 3.11: pH-Werte, Kerntemperaturen (in °C) und Leitfähigkeitswerte (in mS/cm) in *M. longissimus dorsi* (LD) und *M. semimembranosus* (SM) bei verschiedenen Betäubungs-Steich-Intervallen

	Messstelle	Gruppe 1A (sofortiger Blut- entzug)		Gruppe 2 (verzögerter Blut- entzug)		Signifikanz
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	
pH <sub>1</sub>	LD	6,45	0,26	6,35	0,24	*
	SM	6,54	0,22	6,50	0,21	-
pH <sub>ULT</sub>	LD	5,50	0,08	5,52	0,09	*
	SM	5,64	0,16	5,71	0,18	*
°C	SM	40,84	0,47	40,96	0,61	-
LF	LD	3,92	1,76	3,84	1,70	-
	SM	3,85	1,75	3,44	1,34	-

$\bar{x}$  : arithmetischer Mittelwert; s: Standardabweichung

#### 3.2.4.1.2 Einfluss des Entbluteerfolges

Es wurde der Frage nachgegangen, ob es aufgrund der unterschiedlich erfolgreichen Stecher auch zu Unterschieden bei Fleischqualitätsparametern kam. Beim pH<sub>1</sub>-Wert des *M. longissimus dorsi* waren keine signifikanten Unterschiede nachweisbar. Der erfolgreichere Blutentzug (Stecher A) hatte die geringfügig höheren Werte zur Folge. Ähnlich verhielt es sich beim pH<sub>1</sub>-Wert des *M. semimembranosus*. Auch hier lagen die Stecher A zuzuordnenden Werte etwas über denen von Stecher B, jedoch ließ sich dieser Unterschied statistisch nicht sichern.

Auch bezüglich der Kerntemperatur traten keine signifikanten Differenzen auf. Im Mittel waren bei Stecher A 40,84 °C, bei Stecher B 40,76 °C messbar.

Geringe, aber signifikante Unterschiede waren jedoch bei den pH<sub>ULT</sub>-Werten beider Muskeln nachweisbar. Bei den von Stecher A entbluteten Schweinen konnten sowohl im *M. longissimus dorsi* als auch im *M. semimembranosus* die signifikant höheren End-pH-Werte im Vergleich zu Stecher B gemessen werden.

Die Stichblutmenge hatte ebenfalls Auswirkungen auf die Leitfähigkeit. Eine höhere Stichblutmenge führte zu niedrigeren Leitfähigkeitswerten, also zu besserer Fleischqualität. Der arithmetische Mittelwert des LF-Werts des *M. semimembranosus* 24 Stunden p. m. betrug beim erfolgreicherer Stecher A 3,85 mS/cm, bei Stecher B war dieser mit 4,69 mS/cm erhöht. Tab. 3.12 gibt einen Überblick über die ermittelten pH-, Temperatur- und Leitfähigkeitswerte.

Tab. 3.12: *Arithmetische Mittelwerte von pH-Werten, Muskelkerntemperaturen (in °C) und Leitfähigkeitswerten (in mS/cm) des M. longissimus dorsi (LD) und M. semimembranosus (SM) in Abhängigkeit des Personalfaktors bzw. Entbluteerfolges*

	Messstelle	Stecher A**	Stecher B	Signifikanz
pH <sub>1</sub>	LD	6,45	6,43	-
	SM	6,54	6,51	-
pH <sub>ULT</sub>	LD	5,50	5,47	*
	SM	5,64	5,61	*
Temperatur	SM	40,84	40,76	-
LF	LD	3,97	4,19	-
	SM	3,88	4,69	*

\*\* Stecher A erzielte größere relative Stichblutmengen

#### 3.2.4.1.3 Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp

Deutliche Unterschiede traten erwartungsgemäß beim Vergleich der pH-Werte der unterschiedlichen Rassen auf. So lag der pH<sub>1</sub>-Wert beider Muskeln (*M. longissimus dorsi*/*M. semimembranosus*) von reinrassigen Pietrain signifikant unter den Werten aller anderen Rassen. Die Kreuzungen PI x DLS und PI x (DE x DLS) unterschieden sich bezüglich des pH<sub>1</sub>-Werts des *M. longissimus dorsi* signifikant zu den Rassen DE x DLS, DLS x DE und DLS, deren Werte höher waren (Abb. 3.16). Die Kreuzung PI x (DE x DLS) wies zudem signifikant niedrigere pH<sub>1</sub>-Werte auf als die Rasse DE. Die pH<sub>1</sub>-Werte des *M. semimembranosus* lagen bei PI x DLS signifikant unter den bei DLS x DE und DLS gemessenen Werten. Die Kreuzung PI x (DE x DLS) wies signifikant niedrigere Werte auf als die Rasse DLS (Tab. 3.13).

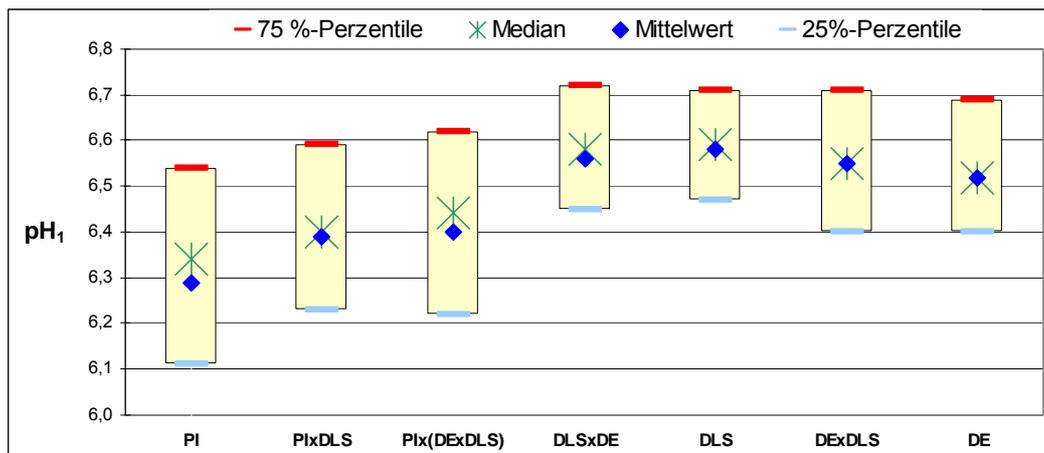


Abb. 3.16:  $pH_1$ -Werte des *M. longissimus dorsi* aller Rassen

Dagegen waren bei den unterschiedlichen Rassen keine signifikanten Temperaturunterschiede nachweisbar. Die arithmetischen Mittelwerte lagen im Bereich zwischen 40,8 und 41 °C.

Die ermittelten rassespezifischen Differenzen bezüglich des  $pH_{ULT}$ -Werts stellten sich wie folgt dar: Die im *M. longissimus dorsi* gemessenen  $pH_{ULT}$ -Werte von Rassen ohne Pietrain-Einfluss (DE, DLS, DE x DLS, DLS x DE) lagen signifikant über den bei reinrassigen Pietrain-Schweinen und deren Kreuzungen PI x DLS und PI x (DE x DLS) gemessenen Werten. Die  $pH_{ULT}$ -Werte des *M. semimembranosus* von reinrassigen Pietrain unterschieden sich signifikant zu DE x DLS, DLS und DE, bei denen höhere Werte gemessen wurden. Die beiden Pietrain-Kreuzungen wiesen signifikant niedrigere  $pH_{ULT}$ -Werte auf als die Rassen DE und DLS. DLS x DE unterschieden sich zudem signifikant zur Rasse DE (Abb. 3.17; Tab. 3.13).

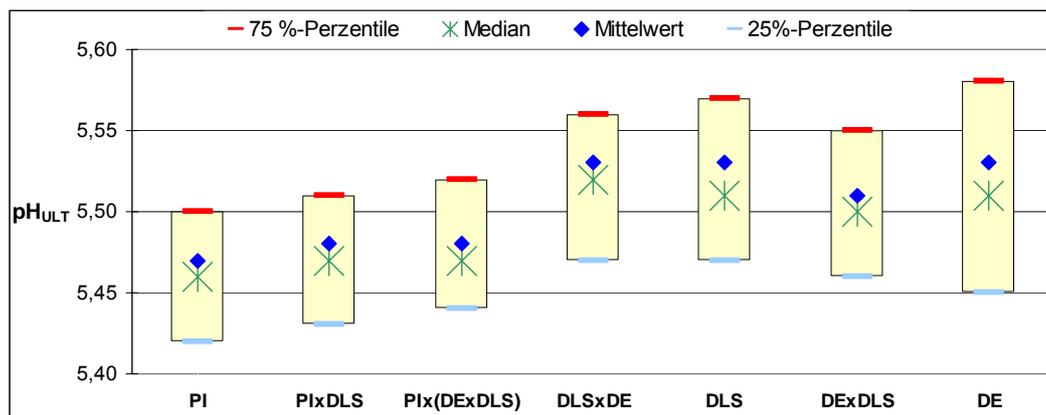


Abb. 3.17:  $pH_{ULT}$ -Werte des *M. longissimus dorsi* aller Rassen

Wie zu erwarten, wurde auch der Leitfähigkeitswert durch die Genetik beeinflusst. So wiesen Rassen ohne Pietrain-Einfluss signifikant niedrigere LF-Werte auf als reinrassige Pietrain und deren Kreuzungen. Außerdem zeigten sich noch innerhalb der Rassen mit Pietrain-Einfluss signifikante Unterschiede zwischen reinrassigen Pietrain und den Kreuzungen PI x (DE x DLS) und PI x DLS. Der LF-Wert war bei reinrassigen Pietrain im Vergleich zu den Kreuzungen erhöht, d. h. die Fleischqualität war schlechter. Die rassespezifischen Unterschiede, die bereits beim LF-Wert des *M. longissimus dorsi* deutlich wurden, bestätigten sich bei den Messungen am *M. semimembranosus*. Es traten wieder signifikante Differenzen zwischen den Rassen mit Pietrain-Einfluss und den übrigen Rassen auf. So waren die LF-Werte bei PI, PI x DLS und PI x (DE x DLS) im Vergleich zu den übrigen Rassen erhöht. Zwischen reinrassigen Pietrain und den Kreuzungen mit Pietrain-Einfluss zeigten sich im Vergleich der Leitfähigkeit des *M. longissimus dorsi* keine signifikanten Unterschiede (Abb. 3.18; Tab. 3.13).

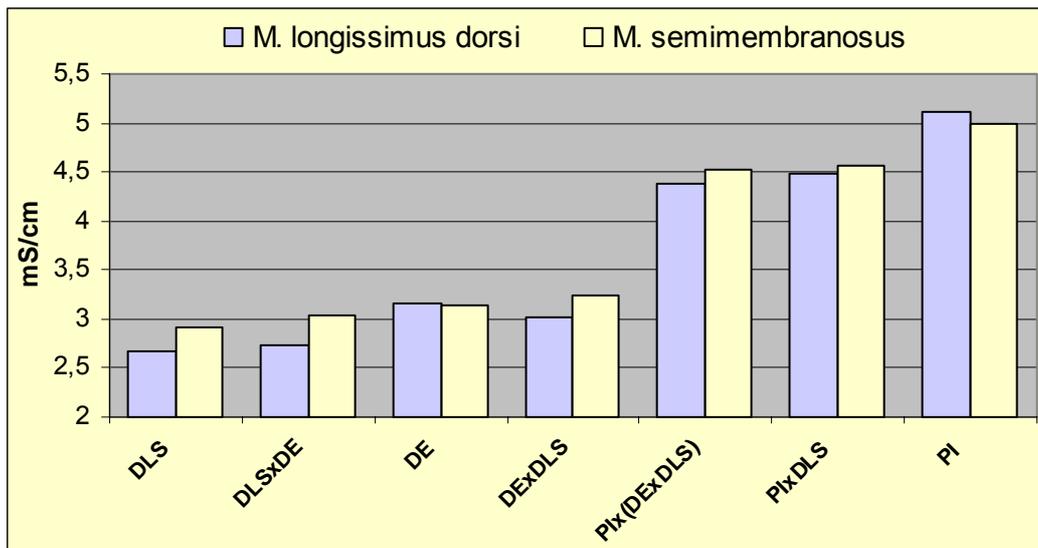


Abb. 3.18: Vergleich der LF-Werte von *M. longissimus dorsi* und *M. semimembranosus* aller Rassen und Kreuzungen

Tab. 3.13: Arithmetische Mittelwerte der  $pH_1$ - und  $pH_{ULT}$ -Werte und der elektrischen Leitfähigkeit (in mS/cm) von *M. longissimus dorsi* (LD) und *M. semimembranosus* (SM) aller Rassen und Kreuzungen

Rassen	$pH_1$ -Wert		$pH_{ULT}$ -Wert		LF-Wert	
	LD	SM	LD	SM	LD	SM
PI	6,29 <sup>a</sup>	6,43 <sup>a</sup>	5,47 <sup>a</sup>	5,59 <sup>a</sup>	5,06 <sup>a</sup>	4,89 <sup>a</sup>
PI x DLS	6,39 <sup>b</sup>	6,50 <sup>b</sup>	5,48 <sup>a</sup>	5,62 <sup>a,b</sup>	4,49 <sup>b</sup>	4,51 <sup>a</sup>
PI x (DE x DLS)	6,41 <sup>b,c</sup>	6,52 <sup>b,c</sup>	5,48 <sup>a</sup>	5,63 <sup>a,b</sup>	4,39 <sup>b</sup>	4,48 <sup>a</sup>
DE	6,52 <sup>c,d</sup>	6,57 <sup>b,c</sup>	5,53 <sup>b</sup>	5,74 <sup>c</sup>	3,20 <sup>c</sup>	3,13 <sup>b</sup>
DE x DLS	6,55 <sup>d</sup>	6,58 <sup>b,c</sup>	5,51 <sup>b</sup>	5,66 <sup>b,c,d</sup>	3,02 <sup>c</sup>	3,22 <sup>b</sup>
DLS x DE	6,56 <sup>d</sup>	6,60 <sup>c</sup>	5,53 <sup>b</sup>	5,65 <sup>a,d</sup>	2,74 <sup>c</sup>	3,06 <sup>b</sup>
DLS	6,58 <sup>d</sup>	6,62 <sup>c,d</sup>	5,53 <sup>b</sup>	5,69 <sup>c,d</sup>	2,66 <sup>c</sup>	2,90 <sup>b</sup>

Versch. Indizes (a,b,c,...): signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zw. den Rassen

Sowohl die Anfangs- als auch die End-pH-Werte von stressstabilen Pietrain (NN) lagen über den Werten von mischerbigen Pietrain (NP). Stresslabile Tiere (PP) lieferten die niedrigsten pH-Werte. Beim  $pH_1$ -Wert des *M. longissimus dorsi* unterschieden sich die drei Genotypen der

Rasse Pietrain signifikant. Beim  $pH_{ULT}$ -Wert des *M. longissimus dorsi* waren nur die Unterschiede zwischen NN-Tieren (stressresistent) und PP-Tieren (stressempfindlich) signifikant. Bezüglich der pH-Werte und der Muskelkerntemperatur des *M. semimembranosus* ergaben sich beim Vergleich der Genotypen keine signifikanten Unterschiede (Abb. 3.19; Tab. 3.14).

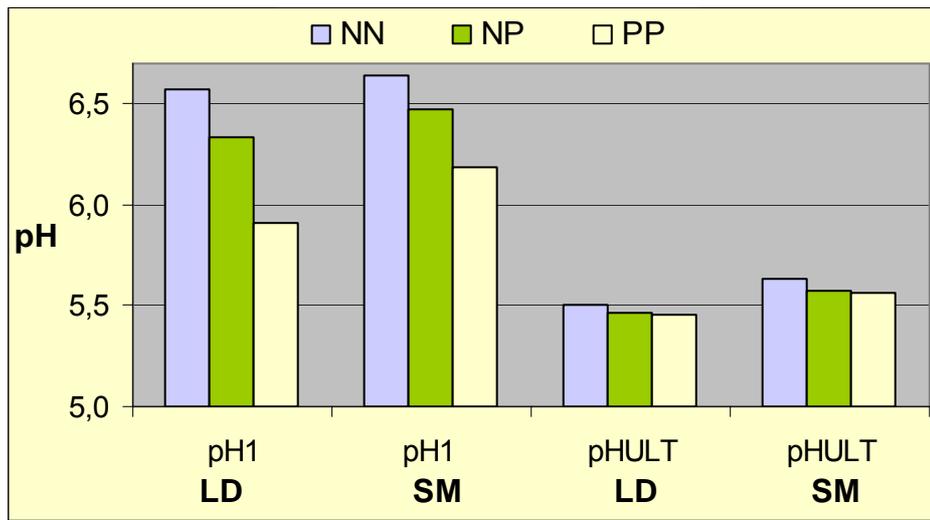


Abb. 3.19: pH-Werte von *M. longissimus dorsi* (LD) und *M. semimembranosus* (SM) aller Genotypen

Bei den Werten der elektrischen Leitfähigkeit ergaben sich signifikante Unterschiede in beiden Muskeln. Die elektrische Leitfähigkeit lag beim stresslabilen MHS-Genotyp PP signifikant über den Werten des Mischtyps und denen des stressstabilen Typs NN (Tab. 3.14).

Tab. 3.14: pH-Werte, Muskelkerntemperatur (in °C) und Leitfähigkeitswert (in mS/cm) bei den Genotypen NN (stresstabil), NP (heterozygoter Genotyp) und PP (stresslabil)

Parameter	Messstelle	NN	NP	PP
pH <sub>1</sub> -Wert	LD	6,57 <sup>a</sup>	6,33 <sup>b</sup>	5,91 <sup>c</sup>
	SM	6,64 <sup>a</sup>	6,47 <sup>a</sup>	6,19 <sup>a</sup>
pH <sub>ULT</sub> -Wert	LD	5,50 <sup>a</sup>	5,46 <sup>a,b</sup>	5,45 <sup>b</sup>
	SM	5,63 <sup>a</sup>	5,57 <sup>a</sup>	5,56 <sup>a</sup>
Kerntemperatur	SM	40,77 °C <sup>a</sup>	40,85 °C <sup>a</sup>	41,01 °C <sup>a</sup>
LF-Wert	LD	3,22 <sup>a</sup>	5,00 <sup>b</sup>	8,00 <sup>c</sup>
	SM	2,87 <sup>a</sup>	5,20 <sup>b</sup>	7,37 <sup>c</sup>

LD: *M. longissimus dorsi*; SM: *M. semimembranosus*

Versch. Indizes (a,b,c,...): signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zw. d. Genotypen

### 3.2.4.2 Fleischhelligkeits- und L\*a\*b\*-Farbwerte

#### 3.2.4.2.1 Einfluss des Betäubungs-Stech-Intervalls

Bezüglich der Fleischhelligkeit waren zwischen den Gruppen mit sofortiger und verzögerter Entblutung keine signifikanten Unterschiede festzustellen (Tab. 3.15). Bei Gruppe 1A lag der Opto-Star-Wert im Mittel bei 68,39, bei Gruppe 2 war dieser mit 68,94 geringfügig höher (Richtung dunkleres Fleisch). Beim L\*-Wert traten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede auf. Die Messungen des a\*-Wertes ergaben signifikante Differenzen zwischen Gruppe 1A und 2. Der arithmetische Mittelwert lag bei Gruppe 2 mit 4,98 signifikant über dem bei Gruppe 1A (4,13) ermittelten Wert. Der b\*-Mittelwert der Gruppe 1A betrug 7,33 und unterschied sich signifikant zu Gruppe 2 (6,80). Demnach wies das Fleisch verzögert entbluteter Schweine einen höheren Rotanteil und einen geringeren Gelbanteil auf.

Tab. 3.15: Vergleich der Fleischhelligkeits- und L\*a\*b\*-Farbwerte bei Gruppe 1A (sofortiger Blutentzug) und 2 (verzögerter Blutentzug)

	Gruppe 1A	Gruppe 2	Signifikanz
Opto-Star-Wert	68,39	68,94	-
L*-Wert	52,61	52,85	-
a*-Wert	4,13	4,98	*
b*-Wert	7,33	6,80	*

#### 3.2.4.2.2 Einfluss des Entbluteerfolges

Eine effektivere Entblutung (Stecher A) führte zu einer signifikant geringeren Fleischhelligkeit (weniger PSE-Veränderungen). Die Ergebnisse der Opto-Star-Messungen wurden durch die gemessenen L\*a\*b\*-Farbwerte bestätigt. Die von Stecher A entbluteten Schweine wiesen einen signifikant höheren Rotanteil und signifikant niedrigeren Gelbanteil des Fleisches auf (Tab. 3.16).

Tab. 3.16: Vergleich der Fleischhelligkeits- und L\*a\*b\*-Farbwerte in Abhängigkeit des Entbluteerfolges

	Stecher A**	Stecher B	Signifikanz
Opto-Star-Wert	68,39	66,65	*
L*-Wert	52,61	53,13	*
a*-Wert	4,13	3,84	*
b*-Wert	7,33	7,77	*

\*\*Stecher A erzielte die größeren relativen Stichblutmengen

#### 3.2.4.2.3 Einfluss von Rasse und MHS-Genotyp

Die Fleischhelligkeitswerte der Opto-Star-Messung der unterschiedlichen Rassen und Kreuzungen sind aus Abb. 3.20 ersichtlich. Die Rasse DLS zeigte signifikant höhere Werte, d. h. dunkleres Fleisch im Vergleich zu PI, PI x DLS, PI x (DE x DLS) und DE x DLS. Die Unterschiede zu den Rassen DLS x DE und DE waren statistisch nicht abzusichern (Tab. 3.17).

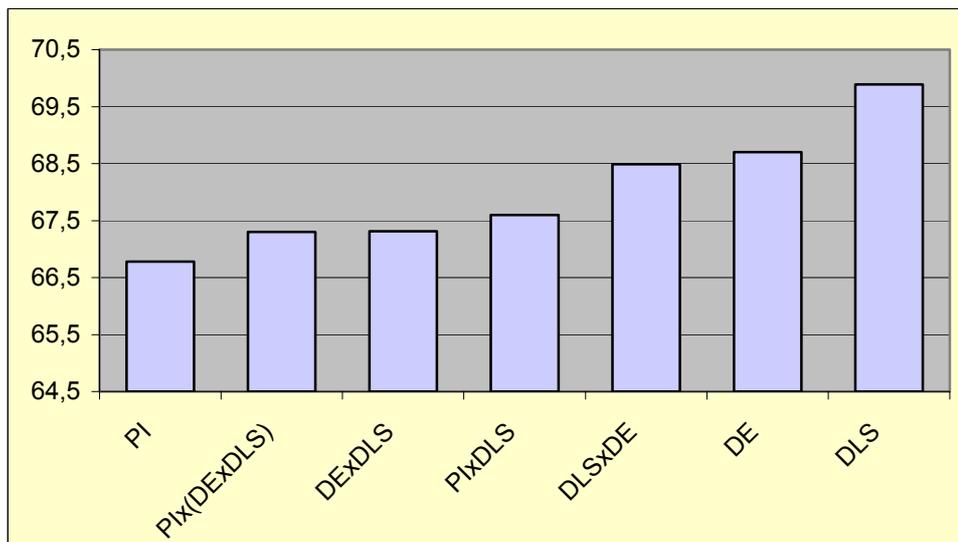


Abb. 3.20: Fleischhelligkeitswerte der Opto-Star-Messung am *M. longissimus dorsi* aller Rassen und Kreuzungen

Die Pietrain-Schweine des stresslabilen Genotyps PP wiesen im Vergleich zu stressstabilen und mischerbigen Schweinen eine signifikant hellere Fleischfarbe bei der Opto-Star-Messung auf (Tab. 3.18).

Bei Auswertung der L\*-Werte ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Rassen mit Pietrain-Einfluss und den Rassen DE, DLS, DLS x DE. Die L\*-Werte waren bei reinrassigen Pietrain und Pietrain-Kreuzungen deutlich erhöht, d. h. die Fleischfarbe war heller. Zwischen DE x DLS und den übrigen Rassen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Abb. 3.21; Tab. 3.17).

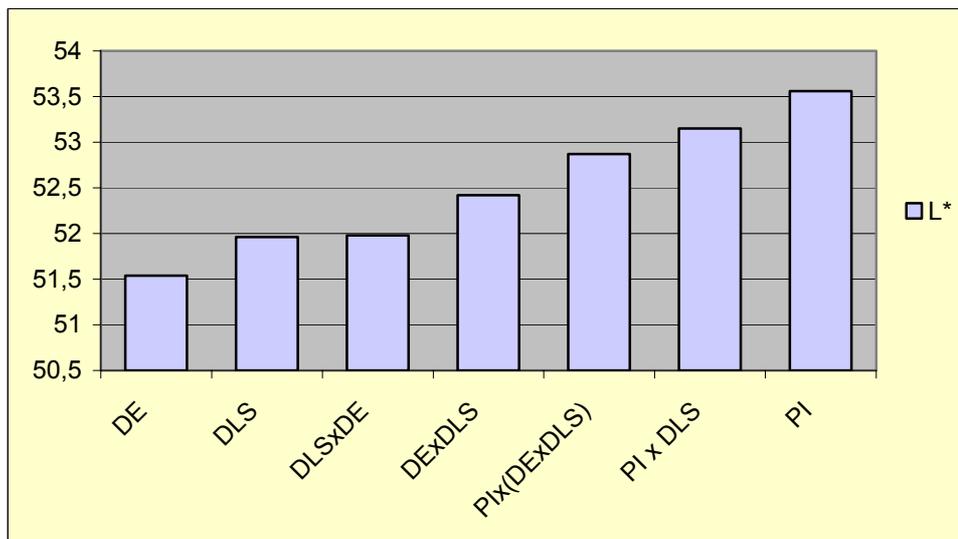


Abb. 3.21: L\*-Werte (Helligkeitswerte) aller Rassen und Kreuzungen

Auch zwischen den Genotypen der Rasse Pietrain traten deutlich sichtbare, signifikante Unterschiede auf. Die Tiere des stressempfindlichen MHS-Genotyps hatten die höchsten L\*-Werte, die stressresistenten Schweine die niedrigsten, dazwischen lag der Mischtyp NP (Tab. 3.18).

Beim a\*-Wert (Rotanteil) ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen reinrassigen Pietrain und den Rassen bzw. Kreuzungen DLS, DLS x DE, DE x DLS und PI x DLS. Die Rasse PI wies signifikant höhere Rotanteile auf. Außerdem traten zwischen PI x (DE x DLS) und den Rassen DLS, DLS x DE und DE x DLS signifikante Differenzen auf, ebenso verhielt es sich mit PI x DLS und DLS. Die niedrigsten a\*-Werte wurden bei der Rasse DLS gemessen, d. h. dieses Fleisch wies den geringsten Rotanteil auf (Abb. 3.22; Tab. 3.17).

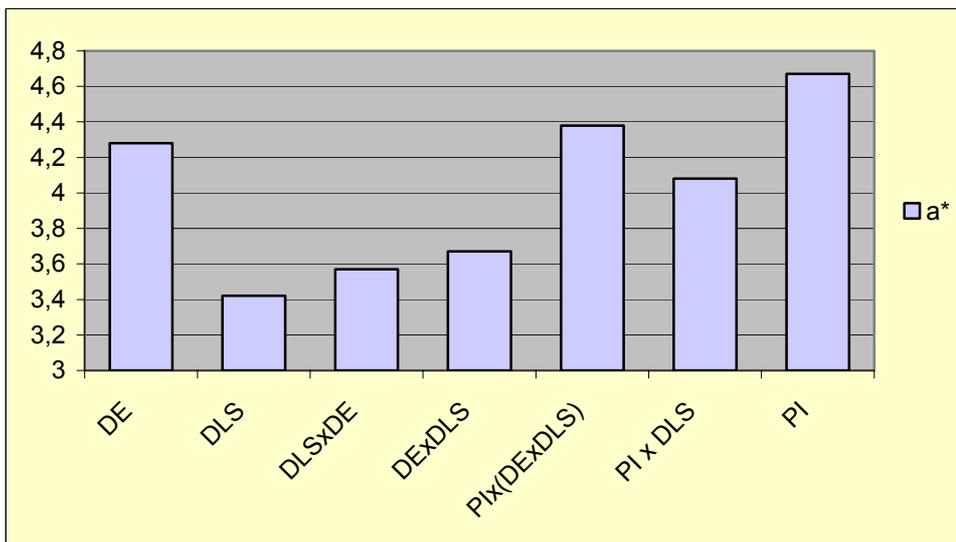


Abb. 3.22: a\*-Farbwerte (Rotanteil) aller Rassen bzw. Kreuzungen

Zwischen den MHS-Genotypen unterschieden sich die Rotanteile nicht signifikant (Tab. 3.18).

Bei Vergleich des durchschnittlichen Gelbanteils (b\*-Wert) traten zwischen den Rassen mit Pietrain-Einfluss und DLS x DE und DLS signifikante Unterschiede auf. So lagen die b\*-Werte bei PI, PI x DLS und PI x (DE x DLS) über den bei DLS x DE und DLS gemessenen Werten (Abb. 3.23; Tab. 3.17).

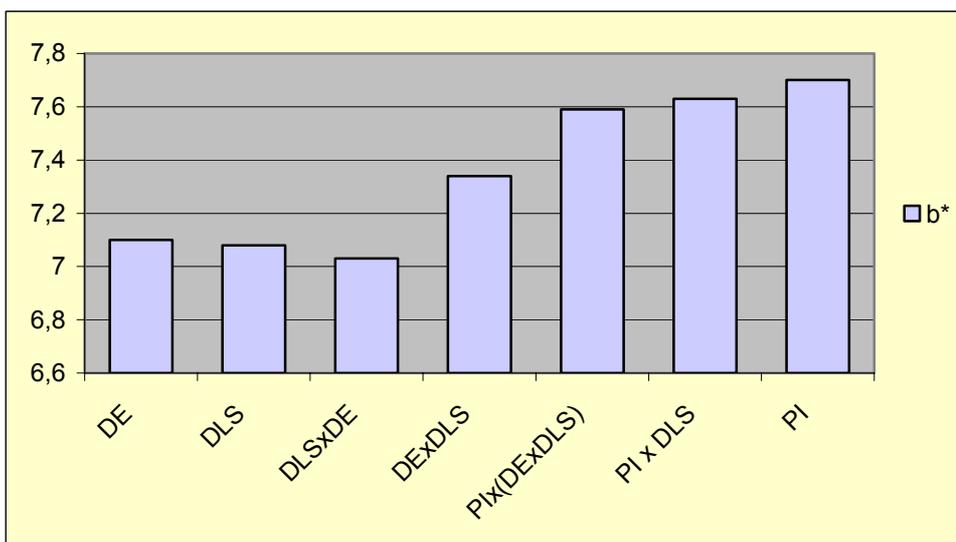


Abb. 3.23: b\*-Farbwerte (Gelbanteil) aller Rassen und Kreuzungen

Zwischen allen Genotypen der Rasse Pietrain ergaben sich signifikante Unterschiede bezüglich des Gelbanteils (Tab. 3.18).

Tab. 3.17: Helligkeits- und  $L^*a^*b^*$ -Farbwerte aller Rassen und Kreuzungen

Rasse	Opto-Star-Wert	$L^*$	$a^*$	$b^*$
PI	66,68 <sup>a</sup>	53,63 <sup>a</sup>	4,73 <sup>a</sup>	7,65 <sup>a</sup>
PI x DLS	67,75 <sup>a</sup>	53,11 <sup>a</sup>	4,19 <sup>b,c</sup>	7,56 <sup>a</sup>
PI x (DE x DLS)	67,46 <sup>a</sup>	52,85 <sup>a</sup>	4,43 <sup>a,c</sup>	7,56 <sup>a</sup>
DE x DLS	67,45 <sup>a</sup>	52,39 <sup>a,b</sup>	3,74 <sup>b</sup>	7,30 <sup>a,b</sup>
DLS x DE	68,47 <sup>a,b</sup>	52,07 <sup>b</sup>	3,65 <sup>b</sup>	7,01 <sup>b</sup>
DLS	69,75 <sup>b</sup>	52,04 <sup>b</sup>	3,41 <sup>b</sup>	7,07 <sup>b</sup>
DE	68,90 <sup>a,b</sup>	51,53 <sup>b</sup>	4,22 <sup>a,d</sup>	7,10 <sup>a,b</sup>

Opto-Star- und  $L^*$ -Wert: Fleischhelligkeit;  $a^*$ -Wert: Rotanteil;  $b^*$ -Wert: Gelbanteil  
Versch. Indizes (a,b,c,...): signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zw. d. Genotypen

Tab. 3.18: Helligkeits- und  $L^*a^*b^*$ -Farbwerte aller Genotypen

Genotyp	Opto-Star-Wert	$L^*$	$a^*$	$b^*$
NN	69,16 <sup>a</sup>	51,92 <sup>a</sup>	4,63 <sup>a</sup>	7,04 <sup>a</sup>
NP	67,44 <sup>a</sup>	53,67 <sup>b</sup>	4,51 <sup>a</sup>	7,74 <sup>b</sup>
PP	60,79 <sup>b</sup>	56,41 <sup>c</sup>	4,86 <sup>a</sup>	8,53 <sup>c</sup>

NN: stressstabiler Genotyp; NP: mischerbiger G.; PP: stressempfindlicher G.  
Opto-Star- und  $L^*$ -Wert: Fleischhelligkeit;  $a^*$ -Wert: Rotanteil;  $b^*$ -Wert: Gelbanteil  
Versch. Indizes (a,b,c,...): signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) zw. d. Genotypen

### 3.2.5 Zusammenhang zwischen relativer Stichblutmenge und dem Auftreten von Reflexen und Reaktionen

Zwischen der Stichblutmenge und dem Auftreten von Reflexen und Reaktionen konnte im Allgemeinen keine Beziehung festgestellt werden (Tab. 3.19). Lediglich bei den Lautäußerungen der Tiere wurde das häufigste Vorkommen auf der Nachentblutestrecke bei der Gruppe mit der geringsten Stichblutmenge (< 3 %) ermittelt.

Tab. 3.19: Auftreten von Reflexen und Reaktionen auf der Nachentblutestrecke in Abhängigkeit des Blutverlustes

Relative Blutmenge	KR		NSWR		Atmung		Motorik		Vokalisation	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
I (<3 %)	6	5,7	1	0,9	7	6,6	4	3,8	2	1,9
II (>3–4 %)	26	5,6	4	0,9	29	6,2	21	4,5	5	1,1
III (>4–5 %)	39	5,2	5	0,7	48	6,4	49	6,6	8	1,1
IV (>5–6 %)	13	6,4	2	1,0	15	7,4	12	5,9	2	1,0
V (>6 %)	3	7,7	0	0	3	7,7	3	7,7	0	0

KR: Kornealreflex; NSWR: Nasenscheidewandreflex

(n: Anzahl; %: Anteil der Tiere innerhalb der Gruppe)

In den Gruppen I (< 3% Stichblutmenge), II (> 3-4%) und IV (> 5-6%) zeigten jeweils 6 % der Schweine positive Kornealreflexe, in Gruppe III (> 4-5%) 5 %. Bei 6 % der Schweine, die zwischen 5 und 6 Prozent ihres Gewichts durch die Entblutung verloren, war dieser Reflex auslösbar. Bei über 6 % Blutverlust stieg der Anteil der Schweine auf 8 %.

Der Anteil der Schweine, bei denen ein Nasenscheidewandreflex auszulösen war, lag in den Gruppen I bis IV bei 1 %. Bei Schweinen mit über 6 % Blutverlust zeigte kein Tier diesen Reflex.

Bei der Überprüfung der Atmungsaktivität ergab sich ebenfalls kein Zusammenhang zur relativen Stichblutmenge. Die Gruppen II und III hatten mit 6 % den niedrigsten Anteil an Tieren mit Atmungsaktionen, bei den Gruppen I und IV ergab sich ein Anteil von jeweils 7 % und bei der Gruppe mit dem größten Blutverlust zeigten 8 % der Tiere Schnappatmung unterschiedlicher Intensität.

Motorische Eigenbewegungen zeigten in Gruppe I 4 % der Schweine, in Gruppe II 5 %, in Gruppe III 7 %, in Gruppe IV 6 % und in Gruppe V 8 % der Tiere.

In den Gruppen II, III und IV konnten bei 1 % der Tiere Lautäußerungen erfasst werden. In Gruppe I betrug der Anteil 2 %, in der Gruppe mit dem größten Blutverlust (V) zeigte keines der Tiere Anzeichen Lautäußerungen.

### 3.2.6 Beziehungen zwischen relativer Stichblutmenge, Ausblutungsgrad und Fleischqualität

Bei Betrachtung des Gesamtkollektivs ergab sich eine schwache positive Korrelation zwischen relativer Stichblutmenge und relativem Lebergewicht ( $r = 0,17$ ;  $p \leq 0,0001$ ), was zunächst widersinnig erschien. Der Grund war, dass bei Rassen mit hohem Muskelfleischanteil (hoher Schlachtausbeute) das Lebergewicht im Verhältnis zum Schlachtgewicht geringer war. Da diese Rassen (PI, PI x DLS, PI x (DE x DLS)) auch den geringsten relativen Blutverlust hatten, ergab sich diese positive Korrelation. Bei Ausschluss dieses Einflusses (gleiche Rassenverteilung bei Stecher A und B) wurde deutlich, dass aus höheren Stichblutmengen auch signifikant niedrigere Lebergewichte resultierten. Erwartungsgemäß war bei effektiverer Entblutung der Restblutgehalt in den Lebern niedriger.

Zwischen der gewonnenen Stichblutmenge und dem Hämoglobingehalt in der Muskulatur ergab sich eine hochsignifikante negative Korrelation (Korrelationskoeffizient  $r = -0,26$ ;  $p \leq 0,0001$ ), d. h. mit zunehmender Stichblutmenge verbesserte sich die Ausblutung der Muskulatur (Abb. 3.24). Hier beeinflusste die Rasse den Hämoglobingehalt nicht.

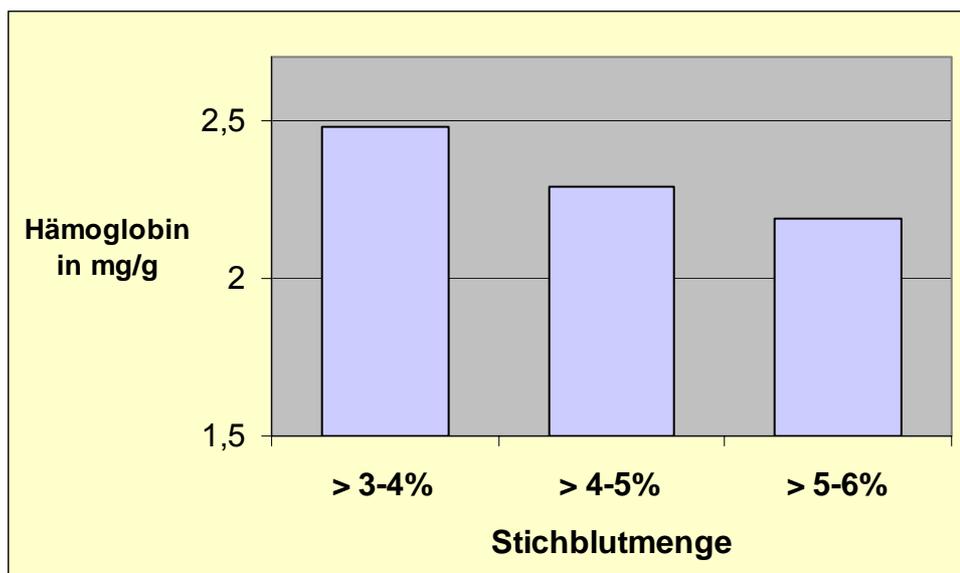


Abb. 3.24: Hämoglobingehalt in mg/kg in Abhängigkeit zum relativen Blutverlust

Im Hinblick auf die Fleischqualität wurde deutlich, dass höhere Stichblutmengen zur Verbesserung der Fleischqualität beitragen können. Es wurden höhere Anfangs- und End-pH-Werte, niedrigere Leitfähigkeitswerte, ein höherer Rotanteil der Kotelettmuskulatur und eine geringere Fleischhelligkeit festgestellt. Die Farbe der Kotelettmuskulatur hatte einen höheren Rotanteil und geringeren Weißanteil. Folgerichtig ergaben sich auch innerhalb einzelner Rassen und Kreuzungen zum Teil schwache, aber signifikante Korrelationen zwischen der Stichblutmenge und Parametern der Fleischqualität (Tab. 3.20).

Tab. 3.20: Signifikante Korrelationen (Korrelationskoeffizient  $r$ ; Signifikanzniveau  $p \leq 0,05$ ) zw. Stichblutmenge und Parametern der Fleischqualität bei den Rassen bzw. Kreuzungen PI, PI x DLS, PI x (DE x DLS)

Parameter	Messstelle	PI	PI x DLS	PI x (DE x DLS)
pH <sub>1</sub> -Wert	LD	0,18	0,12	0,13
	SM	0,21	0,10	
L*-Wert	LD	-0,16		-0,14
LF <sub>24</sub> -Wert	LD			-0,12
	SM			-0,17

LD: *M. longissimus dorsi*; SM: *M. semimembranosus*

## **4 Diskussion**

### **4.1 Versuchsbedingungen**

Aufgrund der Durchführung der Untersuchungen im Versuchsschlachthaus Grub der LfL war es möglich, Einfluss auf alle wichtigen exogenen und endogenen Faktoren, die die Ergebnisse beeinflussen könnten, zu nehmen.

Die Tiere kamen alle aus dem gleichen Stall und sind unter identischen Haltungs- und Fütterungsbedingungen aufgewachsen. Ebenso wurden sie in gleichem Alter und mit ähnlichen Lebendgewichten geschlachtet. Es gab beim Zutrieb der Schlachtschweine – ein Transport fand wegen der unmittelbaren Nähe des Schlachthauses nicht statt – sowie bei den Warte- und Nüchterungszeiten somit nur wenig Variation. Für den Zutrieb und die Betäubung, weitere Arbeiten am Schlachtkörper sowie Messungen waren – mit Ausnahme der Entblutung – immer die gleichen Mitarbeiter innerhalb des Untersuchungszeitraumes zuständig.

Auch die Betäubungsparameter waren – mit Ausnahme der Versuche mit Nur-Kopf-Durchströmung – konstant.

Die Ausschaltung des Rasseinflusses bei Auswertung der Ergebnisse war von Bedeutung, da die Unterschiede – insbesondere zwischen Rassen mit und ohne Pietrain-Einfluss – erheblich waren und andere, sich nur geringgradig auswirkende Einflussfaktoren überlagern würden.

Durch die konstanten Versuchsbedingungen und die Nivellierung des Rasseinflusses konnten störende Einflussfaktoren ausgeschaltet werden (ROSENVOLD und ANDERSEN, 2003), so dass die gemessenen Unterschiede der Entblutequalität zugeordnet werden konnten.

## 4.2 Tierschutz

Die Betäubung mit dem Verfahren einer asynchronen Gehirn-Herz-Durchströmung (Cardiac-Arrest-Stunning) bot nicht nur die Möglichkeit, die Entblutequalität durch ein relativ ruhiges Liegen der Schweine zu verbessern, sondern stellte auch sicher, dass ein Wiedererwachen bei funktionierender Herzelektrode nahezu ausgeschlossen war. Auch bei einer irreversiblen Betäubung sind jedoch Fehler bei der Betäubung, wie eine nicht funktionierende Herzelektrode und eine spontane oder mechanisch induzierte Rückkehr zum normalen Sinusrhythmus, z. B. durch Fall aus der Betäubungsfalle (LAMBOOY, 1981; GREGORY, 1998; GRANDIN, 2001), nicht auszuschließen, wie auch die eigenen Untersuchungen ergaben. FEHRENBURG (1991) und DEMMLER (1988) verneinen jedoch die Möglichkeit, dass ein flimmerndes Herz nach der Betäubung wieder in seine Automatie zurückfinden kann. Das Verhalten der Schweine zeigte in allen Fällen die Symptomatik eines epileptiformen Anfalls, der von HOENDERKEN (1978) und BLACKMORE (1983) als Zeichen einer effektiven Betäubung angesehen wird.

Dass die durch Stimulation des Rückenmarks bedingte ruhigere Lage der Tiere bei Cardiac-Arrest-Stunning die Ausführung eines korrekten Entblutestichs vereinfacht, wurde von einer Reihe anderer Autoren bestätigt (DEMMLER, 1988; WALTER, 1991; WOTTON et al., 1992; FREITAG, 1994; WOTTON, 1995; ANIL et al., 2000; DALY, 2005).

Auch bei kombinierter Kopf-Herz-Durchströmung stellt der Blutentzug, sofern er innerhalb von 30 Sekunden durchgeführt wird, was in dieser Untersuchung bei sofortiger Entblutung der Fall war, die Todesursache dar (WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986), wodurch mögliche fleischhygienerechtliche Bedenken ausgeräumt werden können.

Das maximale Zeitintervall zwischen Betäubung und Entbluteschnitt ist in der TierSchIV (N.N., 2004d) festgelegt. Dieses darf bei elektrischer Betäubung 10 Sekunden betragen. Für (nachweislich) irreversible Betäubungsverfahren besteht jedoch eine Ausnahmeregelung. Da bei vorliegender Untersuchung 3 % der mittels Kopf-/Kopf-Herz-Durchströmung betäubten

Schweine Anzeichen eines Wiedererwachens zeigten, kann die angewandte Methode nicht als ausreichend sicher irreversibel bezeichnet werden.

Das Verfahren des verzögerten Blutentzugs (3 Minuten nach Betäubungsende) kam im Rahmen einer irreversiblen Betäubung zum Einsatz, findet jedoch bei CO<sub>2</sub>-Backloader-Anlagen (Fa. Butina, Dänemark; Fa. MPS Stork, Niederlande) systembedingt immer häufiger Verwendung, da hier 4 bis 5 Schweine die Betäubungsgondel gleichzeitig verlassen und in der Regel nur ein Stecher zur Verfügung steht. Ist die Betäubungstiefe ausreichend und hält die Betäubung bis zum Eintritt des Todes durch die Entblutung an, stehen der verzögerten Entblutung keine tierschutzrechtlichen Bedenken entgegen (MOJE und SCHURR, 2003). Damit kommt der Betäubungseffektivität bzw. der Irreversibilität der Betäubung eine zunehmend bedeutsame Rolle zu.

Bei einigen der Tiere, die verzögert entblutet werden sollten, traten kurz nach Betäubungsende Hirnstammreflexe auf, die jedoch bald darauf wieder verschwanden. Die Entblutung erfolgte erst später. Eine Erklärung hierfür wäre, dass die Dauer des epileptiformen Anfalls nicht bis zum Eintritt des Todes durch Herzkammerflimmern reichte. Durch die ausbleibende Kontraktionskraft des Herzens kommt es zum Abfall des Blutdrucks mit nachfolgendem Kreislaufversagen (VON MICKWITZ et al., 1989; WAGNER, 1997). So erfolgt eine Erholung vom epileptiformen Anfall, die vom eintretenden Kreislaufstillstand überlagert wird. Der Kreislaufstillstand zeigte sich bei der nachfolgenden Entblutung, bei der das Blut mit nur sehr geringem Druck aus der Stichwunde floss. Dies könnte als Beleg dafür angesehen werden, dass auch bei einer Elektrobetäubung mit Herz-Durchströmung der Entblutungsschnitt die Todesursache darstellt, da der Tod durch Herzkammerflimmern augenscheinlich erst später eintritt. Diese Meinung vertreten auch BLACKMORE (1983), WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM (1986) und VON HOLLEBEN (2004).

Die Versuche, bei denen die Tiere nur mit Kopf-Durchströmung betäubt wurden, zeigten zum einen, dass Empfindungs- und Wahrnehmungslosig-

keit bis zum Eintritt des Todes auch durch sofortige Entblutung in 40 % der Fälle nicht erreicht werden konnte, zum anderen wurde der Stechvorgang durch die starke Gliedmaßenmotorik der Tiere erheblich erschwert. Aus tierschützerischer Sicht ist diese Art der Elektrobetäubung nicht akzeptabel. Zu diesem Schluss kommen auch HOENDERKEN (1978), WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM (1986), WOTTON und GREGORY (1986), VON MICKWITZ und HEUKING (1990), FEHRENBURG (1991), WALTER (1991), KIRCHNER (1992), WOTTON et al. (1992), STEGEN (1993), MÄNNL (1994), N. N. (2002a) und VON HOLLEBEN (2004). Die Betäubung mit Induktion von Herzkammerflimmern hat durch die wesentlich ruhigere Lage der Tiere zudem Vorteile im Hinblick auf die Arbeitssicherheit.

Die tierschutzrelevanten Beobachtungen der Schweine auf der Nachentblutestrecke decken sich mit Ergebnissen von SCHÜTTE und BOSTELMANN (2001), die am Ende der Nachentblutestrecke bei 1 bis 14 % der Tiere positive Hirnstammreflexe oder Reaktionen feststellen konnten. In der eigenen Untersuchung lag der Prozentsatz bei 13 % mit dem Unterschied, dass anstelle der CO<sub>2</sub>-Betäubung ein Elektrobetäubungsverfahren mit Herz-Durchströmung eingesetzt worden war. Möglicherweise ist für eine gewisse Erholung untergeordneter Hirnstammregionen ein schlagendes Herz nicht nötig, wie auch Versuche von AICHINGER (2003) ergaben.

Das Auftreten positiver Hirnstammreflexe ist nicht mit Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit gleichzusetzen (ANIL et al., 1997; TROEGER et al., 2005). Dadurch wird jedoch die baldige Erholung übergeordneter Gehirnareale angekündigt und es sollte bereits zu diesem Zeitpunkt nachbetäubt werden. Ist eine Reaktion auf schmerzhaft stimuli vorhanden, hat sich der Hirnstamm bereits erholt und das Tier die Empfindungsfähigkeit wiedererlangt. Gezielte Aktivität der Skelettmuskulatur und Vokalisation sind als Zeichen eines bereits zurückkehrenden Wachstadiums anzusehen (SCHÜTT-ABRAHAM, 1990; FEHRENBURG, 1991; GREGORY, 1998). WOTTON (1996) und GRANDIN (2004) geben an, dass auch bei

hirntoten Tieren noch kickartige Bewegungen aufgrund des Kontrollverlusts über spinale Zentren auftreten können. Die Differenzierung solcher Reaktionen und willkürlicher Bewegungen stellte auch bei der eigenen Arbeit eine Schwierigkeit dar. Es zeigte sich, dass willkürliche Gliedmaßenmotorik eher selten mit dem Auftreten von Hirnstammreflexen gekoppelt war. Nur 17 % der Schweine, die Eigenmotorik zeigten, wiesen gleichzeitig positive Kornealreflexe auf. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass die beobachteten Bewegungen der Entladung spinaler Reflexzentren des Rückenmarks zuzuschreiben sind und nicht als Anzeichen für eine wiedererlangte Wahrnehmungsfähigkeit gewertet werden können.

Die Differenzierung der verschiedenen Reflexe und Reaktionen auf der Nachentblutestrecke ist aus Tierschutzsicht notwendig. Die im finalen Stadium bis zuletzt vorhandenen Reflexe sind Kornealreflex und Schnappatmung, die anzeigen, dass der Hirnstamm noch aktiv ist. Treten diese bei Tieren auf der Nachentblutestrecke auf, ist dies weniger kritisch zu beurteilen als Vokalisation oder positive Reaktionen auf schmerzhafte Stimuli (Nasenscheidewandreflex). Letztere Reaktionen zeigen an, dass die Tiere Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit wiedererlangt haben und deshalb zu diesem Zeitpunkt dringend nachbetäubt werden müssen.

Auch im Hinblick auf die kontroverse Diskussion der Aussagekraft spezieller Hirnstammreflexe nach elektrischer Betäubung, wie insbesondere Kornealreflex, sollte zur Bewertung der Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit immer die Kombination einiger Parameter in Betracht gezogen werden, wie sie von der European Food Safety Authority und anderen (VON MICKWITZ und LEACH, 1977; BLACKMORE und PETERSEN, 1981; ANIL, 1991; ANIL et al., 1997; N.N., 2004; VON HOLLEBEN, 2004; TROEGER et al., 2005) empfohlen wird. Bei der eigenen Untersuchung waren viele Beziehungen zwischen Reflexen und Reaktionen signifikant. Besonders das gemeinsame Auftreten von Kornealreflex und höherfrequenter Schnappatmung war hochsignifikant und wird aufgrund dieser Arbeit als aussagekräftig beurteilt und als Anzeichen für ein baldiges Wiedererwachen der Tiere angesehen. Ebenso waren die Beziehungen von

Nasenscheidewandreflex, Motorik und Vokalisation zu häufiger Schnappatmung signifikant.

Das Auftreten von Schnappatmung wird als irreversible Schädigung des Hirnstamms bzw. des Atemzentrums im finalen Stadium interpretiert (N. N., 1998). Schnappatmung zeigt sich v. a. nach einem Herz-Kreislaufstillstand - wie er durch das ausgelöste Herzkammerflimmern erzeugt wird - und gilt als Symptom des Sistierens der Sauerstoffversorgung des Gehirns (SEFRIN, 2005). Bei den eigenen Untersuchungen konnte oft höherfrequente Schnappatmung über einen relativ langen Zeitraum (etwa 5 Minuten) beobachtet werden. Dies muss als Verzögerung des Eintritts des Hirntods interpretiert werden, v. a. da Schnappatmung in den meisten Fällen mit dem Auftreten anderer Reflexe assoziiert war. Dass es hierbei auch zu einer spontanen Rückkehr der Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit, d. h. einer Erholung des Hirnstamms einschließlich übergeordneter Areale (Cortex) kommen kann, erscheint eher unwahrscheinlich.

Von SCHÜTTE und BOSTELMANN (2001) wurde für das Auftreten von Hirnstammreflexen und Reaktionen neben einer unzureichenden Betäubung eine mangelhafte Entblutung verantwortlich gemacht. Eine sofortige und effektive Entblutung kann die Rückkehr zu Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit verhindern und somit eine tierschutzgerechte Schlachtung gewährleisten (GREGORY, 1985; N. N., 2001; MOJE und SCHURR, 2003; VON HOLLEBEN, 2004). Die Unterscheidung zwischen unzureichender Betäubung und mangelhafter Entblutung erscheint speziell vor dem Hintergrund einer irreversiblen Betäubung schwierig. Nach VON WENZLAWOWICZ et al. (1996) ist das Auftreten von Symptomen eine Minute nach Betäubungsende ein Hinweis auf Fehler bei der Entblutung. Da die Überprüfung von Reaktionen und Reflexen der Tiere im Regelfall ca. 2 bis 3 Min. nach der Betäubung durchgeführt wurde, lassen die vorhandenen Reflexe und Reaktionen ebenfalls auf eine schlechte Entblutung schließen, zumal von einigen Autoren der Entbluteschnitt, auch bei Cardiac-Arrest-Stunning, als Todesursache angesehen wird (BLACKMO-

(BLACKMORE, 1983; WORMUTH und SCHÜTT-ABRAHAM, 1986; VON HOLLEBEN, 2004).

Man würde erwarten, dass bei effektiver Entblutung, d. h. bei großer relativer Stichblutmenge, der Tod des Tieres unverzüglich eintritt und keine Reflexe oder Reaktionen auf der Nachentblutestrecke feststellbar wären. Das Auftreten der meisten Reflexe und Reaktionen stand bei der vorliegenden Untersuchung aber in keiner Beziehung zur relativen Stichblutmenge. Eine Ausnahme stellt hierbei der Anteil der Tiere mit willkürlichen Lautäußerungen und positiven Nasenscheidewandreflexen dar, der mit zunehmender Stichblutmenge abnahm. Diese tierschutzrelevanten Reaktionen traten bei keinem Tier aus der Gruppe mit dem höchsten relativen Blutverlust auf. Speziell vor dem Hintergrund der schwierigen Abgrenzbarkeit zu Rasselgeräuschen, die durch das Anschneiden der Trachea zustande kamen, ist die Aussage zur Vokalisation allerdings kritisch zu betrachten. Dass die erwartete Beziehung zwischen Blutverlust und Hirnstammreflexen nicht generell nachgewiesen werden konnte, lag vermutlich an dem sehr großen Messzeitintervall von ca. 10 Minuten zwischen Erfassung des Lebendgewichts und Erfassung des Gewichts nach Entblutung. Der sofortige Blutdruckabfall, der durch einen gut ausgeführten Entbluteschnitt gewährleistet ist, spielt für den baldigen Eintritt des Hirntodes der Tiere die entscheidende Rolle. Ist in den ersten Sekunden der Blutverlust gering, laufen möglicherweise Adaptionsmechanismen des Kreislaufsystems ab, die zur vorläufigen Sicherung der Blutversorgung und Erhaltung der Gehirnstammaktivität beitragen können. Aufgrund des langen Messzeitintervalls konnten jedoch auch bei einer eher langsamen (aber länger andauernden) Ausblutung hohe Stichblutmengen gemessen werden. Diese Tiere hatten jedoch zum Prüfzeitpunkt erst relativ wenig Blut verloren, so dass positive Reflexe möglich waren. Deshalb bringt eine Differenzwägung mit einem Zeitintervall von durchschnittlich 10 Minuten keine Vorteile für die Kontrolle des Entbluteverfahrens zur Verbesserung des Tierschutzes.

TROEGER et al. (2005) konnten mit ihren Untersuchungen nachweisen, dass die innerhalb der ersten 10 Sekunden gewonnene relative Stichblutmenge auf das Auftreten von Reflexen Einfluss hatte. Lag diese über 1,75 % des Lebendgewichts, bestand keine Gefahr des Wiedererwachens der Tiere.

Die Untersuchungen der Tiere auf das Vorhandensein bestimmter Reflexe und Reaktionen wurden zu einem relativ späten Zeitpunkt (ca. 3 Minuten nach Betäubungsende und ca. 2 bis 3 Minuten nach Entblutung) durchgeführt, was die Aussagekraft der Ergebnisse erhöht. Der Anteil der Tiere mit Reflexen und Reaktionen auf der Nachentblutestrecke ist mit 13 % bedenklich hoch. Dies zeigt die Notwendigkeit der Überwachung des Betäubungs- und Entblutevorgangs. Wie ein derartiges Verfahren effizient und unter Routinebedingungen umsetzbar ist, muss in weiteren Forschungsvorhaben geklärt werden.

### **4.3 Stichblutmenge**

Die EDV-gestützte Erfassung der Stichblutmenge durch zwei verschiedene Waagen erwies sich auch für den Routinebetrieb als geeignet. Durch einfache Umbaumaßnahmen konnte der Einbau der Lebedntierwaage nach der Betäubungsfalle erreicht werden. Einzig das Abspeichern des Lebendgewichts musste durch einen Mitarbeiter erfolgen, da nur das Gewicht von ruhig auf der Waage liegenden Tieren aussagekräftig ist.

Der Mittelwert der relativen Stichblutmenge wurde mit 4,25 % ermittelt. Angaben anderer Autoren liegen zum Teil im gleichen Bereich (WARRISS und WOTTON, 1981; SWATLAND, 1983), aber auch weit darunter (GISSKE und GLEES, 1964; SUDAKOW, 1990; BOJOVIC et al., 1992). Dabei muss der jeweilige Zeitraum der Messung der Blutmenge berücksichtigt werden, der bei der vorliegenden Untersuchung relativ lang gewählt war (ca. 10 Minuten). Bei früheren Untersuchungen fehlen zum Teil Angaben zum Zeitintervall der Messung, weshalb ein Vergleich nicht unbedingt sinnvoll erscheint.

Dass bei 15 % der Schweine Werte über 5 % Blutverlust bzw. bei 3 % über 6 % Blutverlust ermittelt werden konnten, ist vermutlich der Tatsache zuzuschreiben, dass zum einen Anfälligkeiten des Kreislaufs durch züchterische Selektion auf stressresistente Genotypen verbessert wurden. Zum anderen hat sich das Kreislaufsystem der entsprechenden Muskelfülle der Mastschweine im Laufe der Jahre angepasst. Diese Fortentwicklung wäre auch beim Einsatz von Entblutekontrollsystemen zu bedenken. GREGORY (1998) geht von einem Anteil des Blutes von 8 % des Lebendgewichts aus. Der entziehbare Anteil liegt nach unterschiedlichen Angaben zwischen 40 und 75 % der Gesamtblutmenge (WARRISS, 1984; MOJE, 1993; GREGORY, 1998). Nach diesen Angaben erhält man bei einem Schwein mit einem Lebendgewicht von 100 kg bei einem Entzug von 75 % der Gesamtblutmenge eine relative Stichblutmenge von 6 %. Stichblutmengen in diesem Bereich sind also auch nach Literaturangaben durchaus möglich.

Die vorliegende Untersuchung wurde bei geringer Schlachtgeschwindigkeit durchgeführt (30 Tiere/Stunde). Bei höherer Geschwindigkeit – wie in der Praxis üblich – ist eine gute Entblutestichqualität noch schwieriger zu gewährleisten.

Bis heute gibt es keine routinemäßige Kontrolle des Entbluteverfahrens beim Einzeltier. Die Praktikabilität des Einsatzes vorhandener Entblutekontrollsysteme, wie z. B. das der Fa. Anitec, Schweden, ist wenig untersucht. Bei Anwendung einer Stichblutmengen-Kontrolle sollte bei den eingestellten Grenzwerten für die Stichblutmengen das Lebendgewicht bzw. die Gewichtsklasse berücksichtigt und die Blutmenge innerhalb eines engen Zeitintervalls (z. B. 10 Sekunden) erfasst werden, auch um unnötige Fehlalarme des Systems zu vermeiden. Nach TROEGER et al. (2005) kommt diesem relativen Wert der Stichblutmenge zur Beurteilung der Entbluteeffektivität die größte Bedeutung zu, da Absolutwerte keinen Bezug zum jeweiligen Tier liefern und solche Richtwerte für leichte Schweine zu hoch und für Sauen oder schwere Mastschweine zu niedrig angelegt wären. Für ein eventuelles Nachstechen der Schweine müsste entweder das

Schlachtband angehalten werden, was in vielen Fällen nicht möglich sein dürfte, oder ein zusätzlicher Mitarbeiter eingesetzt werden. Hinsichtlich des Einsatzes eines solchen Kontrollverfahrens bedarf es jedoch weiterer Forschung.

Die relative Stichblutmenge bei verzögerter Entblutung war zwar nicht signifikant geringer, jedoch betrug der Unterschied bei den Medianwerten immerhin 0,22 % des Lebendgewichts. Dies entspricht bei 500 verzögert entbluteten Schweinen (mit 100 kg Lebendgewicht) einem Unterschied von 110 kg Schlachtgewicht, was sich auf das wirtschaftliche Ergebnis der Schlachtung auswirkt. Dass dieser Unterschied statistisch nicht zu sichern war, lag wahrscheinlich an der im Vergleich zu der Gruppe mit sofortigem Blutentzug ( $n = 1707$ ) geringeren Tierzahl ( $n = 118$ ). WILLIAMS et al. (1981) ermittelten bei verzögert entbluteten Rindern ebenfalls geringere Stichblutmengen. STOLLE und REUTER (1981) konnten die geringsten Stichblutmengen bei bereits verendeten Tieren messen, bei denen der Zeitpunkt des Todes am weitesten zurücklag.

Der Einfluss des Personalfaktors auf die Entbluteeffektivität zeigte sich deutlich. Wie auch von verschiedenen Autoren (SCHLENKRICH, 1989; LAMBOOY, 1990; ANIL et al., 1997; VON WENZLAWOWICZ et al., 1998; ANIL et al., 2000; TROEGER et al., 2005) angegeben, hatte die Qualifikation des Stechers maßgeblichen Einfluss auf den Entblutungserfolg. Dem routinierteren Stecher (A) konnten die höheren Stichblutmengen zugeordnet werden. Wie die Ergebnisse zeigen, hat der Stecher damit auch Einfluss auf den Ausblutungsgrad und die Fleischqualität. Obwohl die TierSchIV (2004d) einen Sachkundenachweis für Stecher fordert, kommen immer wieder unerfahrene Mitarbeiter mit wenig Sachkunde zum Einsatz, was den tierschutzgerechten Ablauf der Schlachtung gefährdet, die Fleischqualität beeinträchtigt und wirtschaftliche Nachteile für den Betrieb mit sich bringt.

Die relative Stichblutmenge wurde maßgeblich von der Rasse beeinflusst. Da Rassen mit Pietrain-Einfluss die geringeren Stichblutmengen lieferten - bei reinrassigen Pietrain war dies signifikant -, war es wichtig, dass der

Pietrain-Anteil in allen Versuchsgruppen gleich groß war, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Durch die stärkere Muskelausbildung der fleischbetonten Rasse war die erfasste Stichblutmenge im Vergleich zum Lebendgewicht geringer. Die starke Bemuskelung des Halses könnte den Abfluss des Blutes aus der Stichwunde zudem erschweren.

#### **4.4 Ausblutungsgrad**

Der Ausblutungsgrad wurde in der vorliegenden Arbeit als das noch im Schlachttierkörper verbliebene Restblut definiert. Diese Definition deckt sich mit denen von BÜNNIG (1968) und GEROLD und STOLLE (1994). Bei sofortiger Entblutung (Stecher A) konnte ein Hämoglobingehalt von 2,30 mg/g bestimmt werden. Ein Liter Schweineblut enthält durchschnittlich 104 g Hämoglobin (RICHTER et al., 1992), d. h. 2,30 mg/g entsprechen ca. 22 ml Blut pro kg Muskulatur. Dieser Wert liegt deutlich über den von WARRISS (1984) angegebenen 2 bis 9 ml/kg. Dies kann an der verbesserten Nachweismethode für Hämoglobin mittels Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) liegen. Die Methode des Cardiac-Arrest-Stunning hat auf den Ausblutungsgrad keinen Einfluss (WARRISS und WOTTON, 1981; WALTER, 1991; KIRCHNER, 1992). Allein durch die liegende Position bei der Entblutung sind die wesentlich höheren Werte nicht zu erklären. Berechnet man den Restblutgehalt der Muskulatur für ein Schwein mit einem Muskelfleischanteil von 55 % des Schlachtgewichts und einem Schlachtgewicht von 80 kg, ergibt dies etwa einen Liter Blut, der in der Muskulatur des Schlachtkörpers verbleibt.

Durch Verzögerung des Zeitpunktes der Entblutung (3 Minuten nach Betäubungsende) erhöhte sich der Restblutgehalt von Leber und Muskulatur signifikant. Auch STOLLE und REUTER (1981) stellten bei Entblutung verendeter Tiere eine vermehrte Blutfülle und Volumenzunahme der Leber fest. Viele Autoren stimmen darin überein, dass die Zunahme des Zeitintervalls zwischen Betäubung und Stechen den Ausblutungsgrad negativ beeinflusst (OGIELSKI und WARTENBERG, 1961; HEINZ et al., 1972; GEROLD und STOLLE, 1994).

Durch eine effektive Entblutung (Stecher A) konnte ein besserer Ausblutungsgrad von Leber (signifikant) und Muskulatur (tendenziell) erzielt werden. GEROLD und STOLLE (1994) geben ebenfalls an, dass ein fachgerechter Entblutestich den Ausblutungsgrad verbessern kann.

Das relative Lebergewicht von Rassen mit Pietrain-Einfluss war signifikant geringer. Durch eine höhere Schlachtausbeute wird das Lebergewicht im Verhältnis zum Schlachtgewicht geringer. Dies setzte sich in den Genotypen der Rasse fort. Stressempfindliche Pietrain lieferten Lebern mit dem signifikant geringsten relativen Gewicht.

Die Hämoglobinwerte der einzelnen Rassen und Genotypen unterschieden sich dagegen nicht signifikant, da sie nicht ins Verhältnis zum Schlachtgewicht gesetzt wurden, sondern in mg/g Muskulatur angegeben wurden.

Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen (GISSKE und GLEES, 1964; WARRISS und LEACH, 1978; CHRYSTALL et al., 1981; WARRISS, 1984; STOLLE und PAULICK, 1990; WALTER, 1991; KARSCH, 1997), die zwischen Stichblutmenge und Restblutgehalt der Muskulatur keinen Zusammenhang feststellen konnten, ergab sich bei vorliegender Untersuchung eine hochsignifikante negative Korrelation, d. h. mit zunehmender Stichblutmenge nimmt der Restblutgehalt der Muskulatur ab. Die logische Schlussfolgerung, dass bei größerem Blutverlust der Restblutgehalt des Schlachtierkörpers geringer ist, konnte vermutlich erst durch verbesserte Nachweismethoden wie der Feststellung der Stichblutmenge durch Differenzwägung und der Verwendung der HPLC zur Bestimmung der Hämoglobin-Konzentration belegt werden.

#### **4.5 Fleischqualität**

Durch eine effektive Entblutung (Stecher A) konnte die Fleischqualität verbessert werden. Daraus resultierten tendenziell höhere Anfangs- und signifikant höhere End-pH-Werte, eine geringere elektrische Leitfähigkeit sowie eine geringere Fleischhelligkeit mit höherem Rotanteil (weniger

PSE-Veränderungen). Diese positive Wirkung einer effektiven Entblutung konnte insbesondere bei Pietrain-Schweinen und Kreuzungen mit Pietrain festgestellt werden. Ursächlich scheint ein schnelleres Abklingen von glykolysefördernden Muskelaktivitäten sowie die Abführung von Stresshormonen mit dem Blut zu sein. Die ermittelten Fleischqualitätsparameter waren stark rasseabhängig. Erwartungsgemäß lieferten die Rasse Pietrain und deren Kreuzungen die schlechteste Fleischqualität. Innerhalb der Gruppe reinrassiger Pietrain war die Fleischqualität beim stressempfindlichen Genotyp (PP) am schlechtesten. Die beiden Rassen DE und DLS sind sich bezüglich ihrer Fleischqualität relativ ähnlich. Die besten Fleischqualitätsparameter konnten bei der Rasse DLS ermittelt werden. Diese Ergebnisse decken sich mit Untersuchungen von KALBE et al. (2005).

Die Ergebnisse zeigen, dass es durch die verzögerte Entblutung zu einer graduell positiven Beeinflussung der Fleischqualität mit höheren End-pH-Werten und einer geringeren elektrischen Leitfähigkeit kam. Der pH-Wert-Abfall erfolgt bei der verzögerten Entblutung zunächst rascher, kommt jedoch auf höherem Niveau zum Erliegen. Als Begründung für die erhöhte Glykolyserate zu Beginn könnten die (aufgrund der fehlenden, schnellen Entblutung) länger dauernden Muskelaktivitäten, die zu einer Temperaturerhöhung führen, sowie der vermehrte Einfluss humoraler Stressfaktoren (Katecholamine) bei verzögert entbluteten Schweinen dienen. Der pH-Wert-Abfall innerhalb von 24 Stunden wird durch die anfängliche Pufferwirkung des Blutes, das länger im Körper zurückbleibt und einen Teil des gebildeten Laktats neutralisiert, vermindert. Zudem steht durch den hohen Glykogenverbrauch zu Beginn für den späteren pH-Abfall nur noch eine geringere Menge Glykogen zur Verfügung. Die Folge sind höhere End-pH-Werte bei den verzögert entbluteten Tieren. STOLLE und REUTER (1981) stellten bei Schlachtungen an bereits verendeten Tieren fest, dass die pH-Werte mit denen eines vergleichbaren DFD-Kollektivs identisch waren. In der vorliegenden Untersuchung lagen die  $pH_{ULT}$ -Werte bei 5,52 im M. longissimus dorsi und 5,71 im M. semimembranosus und somit weit vom DFD-Bereich mit Werten über 6,2 entfernt (AVVFIH, 2002b).

Fleisch mit höheren End-pH-Werten und niedrigerer elektrischer Leitfähigkeit besitzt ein besseres Saffhaltevermögen und ist deshalb besonders bei der Vermarktung von Fleisch in SB-Packungen gewünscht. Insgesamt können die Ergebnisse als leichte Fleischqualitätsabweichung in Richtung DFD-Fleisch interpretiert werden. Hätte der Blutentzug, der nach 3 Minuten durchgeführt wurde, zu einem noch späteren Zeitpunkt stattgefunden, wäre die Ausprägung von DFD-Eigenschaften vermutlich deutlicher ausgefallen. Als negative Folge der verzögerten Entblutung ergab sich ein höherer Restblutgehalt der Muskulatur. Dies hat auch ökonomische Auswirkungen (höheres Zueihälftengewicht warm). Ob allerdings die vorliegenden Ergebnisse (nach Elektrobetäubung mit Auslösung von Herzkammerflimmern) auf andere Betäubungsverfahren (CO<sub>2</sub>-Backloader-Anlagen), wo es systembedingt zu verlängerten Zeitintervallen zwischen Betäubung und Entbluteschnitt kommt, übertragen werden können, muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

## 5 Schlussfolgerungen

- Die Ergebnisse zeigen, dass für die Gewährleistung einer tierschutzkonformen Schlachtung die Überwachung des Entblutevorganges zwingend notwendig ist. Hier besteht dringender Handlungsbedarf für die Entwicklung eines Überwachungssystems zur Feststellung des Todes der Schlachttiere auf der Nachentblutestrecke, welches im Routinebetrieb einsetzbar ist. Als praktikabelste und wirtschaftlich umsetzbarste Lösung erscheint ein automatisiertes Verfahren einer Reflexprüfung. Auch eine visuelle Kontrolle der Tiere durch einen Mitarbeiter ist denkbar.
- Die Entbluteeffektivität, d. h. die gewonnene Blutmenge hat Auswirkungen auf die Fleischqualität sowie den Restblutgehalt von Organen (Leber) und Muskulatur. Letzteres beeinflusst das Schlachtgewicht und ist deshalb auch von ökonomischem Interesse.
- Entscheidend für die Entbluteeffektivität ist die korrekte Ausführung des Entbluteschnittes. Die Befähigung des Stechers hat somit bedeutenden Einfluss auf die letztlich resultierende Fleischqualität wie auch auf das wirtschaftliche Ergebnis der Schlachtung. Schon aus wirtschaftlichem Interesse sollte deshalb eine Qualitätssicherung der Entblutung durch (direkte oder indirekte) systematische Kontrolle des Entbluteerfolges des Einzeltiers erfolgen. Eine direkte Kontrolle des Entbluteerfolges kann in der beschriebenen Weise mittels Differenzwägung der Schlachttierkörper (Lebendgewicht minus Gewicht am Ende der Entblutestrecke) durchgeführt werden. Die so erreichte Qualitätssicherung der Entblutung bewirkt eine Verbesserung der Fleischqualität, der Wirtschaftlichkeit der Schlachtung und nicht zuletzt des Tierschutzes.
- Eine Verlängerung des Zeitintervalls zwischen Betäubungsvorgang und Stechen hat zwar graduell positive Auswirkungen auf die Fleisch-

qualität, dagegen negative Auswirkungen auf den Ausblutungsgrad, somit ist eine gezielte Verlängerung des Zeitintervalls zwischen (irreversibler) Betäubung und Entbluteschnitt eher nicht zu empfehlen.

## 6 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, den Entblutungserfolg, d. h. die Stichblutmenge bei der Schweineschlachtung in Abhängigkeit des Betäubungsverfahrens, des Zeitintervalls zwischen Betäubung und Stechen und der Genetik zu erfassen und in Beziehung zu Parametern des Tier-schutzes und der Fleischqualität, insbesondere des Ausblutungsgrades, zu setzen.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden 1835 Schweine am Versuch-schlachthof der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Grub, ge-schlachtet. Es standen 7 verschiedene Rassen bzw. Kreuzungen zur Ver-fügung: Deutsches Edelschwein (DE), Deutsche Landrasse-Sauenlinie (DLS), Pietrain (PI), DLS x DE, DE x DLS, PI x DLS und PI x (DE x DLS). Bei reinrassigen Pietrain war zudem der MHS-Genotyp (d. h. die Stress-empfindlichkeit) bekannt. Nach Elektrobetäubung mit Auslösung von Herzkammerflimmern, zum Teil auch nur als alleinige Kopf-Durchströmung, wurde auf einer Lebendtierwaage das Gewicht der Schweine vor der Entblutung erfasst. Nach der Entblutung im Liegen, die von zwei unterschiedlich geübten Mitarbeitern durchgeführt wurde, wurden die Tiere über eine Rohrbahnwaage vor dem Eingang des Brühltunnels erneut gewogen. Die ermittelte Differenz der beiden Wägungen entsprach dem Blutverlust und wurde auf das Lebendgewicht bezogen (in %). Nach dem Aufziehen auf die Rohrbahn wurden die gestochenen Schweine auf Anzeichen von Empfindungs- und Wahrnehmungsfähigkeit (Reflexe, At-mung/Schnappatmung, Motorik, Vokalisation) überprüft. Bei einem Teilkol-lektiv von 118 Schweinen wurde das Betäubungs-Stech-Intervall auf 3 Minuten verlängert. Zur Bestimmung des Ausblutungsgrades wurden die relativen Lebergewichte sowie der Hämoglobingehalt der Zwerchfellmus-kulatur erfasst. Als Fleischqualitätsparameter wurden pH-Werte, Leitfähig-keit, Fleischhelligkeit und Fleischfarbe bestimmt.

Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Die gewonnene Gesamtblutmenge hatte keinen Einfluss auf das Auftreten von Kornealreflex, Schnappatmung und Motorik der gestochenen Schweine. Lautäußerungen der Tiere nahmen mit zunehmender relativer Stichblutmenge ab. Bei 13 % der Tiere war trotz Einsatzes einer Herzelektrode die Irreversibilität der Betäubung zweifelhaft, 3 % der Tiere waren definitiv nicht irreversibel betäubt.
- Die Qualifikation/Fertigkeit des Stechers hatte signifikanten Einfluss auf die Stichblutmenge. Der geübtere Stecher erzielte höhere Stichblutmengen.
- Mit zunehmender Stichblutmenge konnte ein besserer Ausblutungsgrad, gekennzeichnet durch geringere relative Lebergewichte und Hämoglobingehalte in der Muskulatur, erzielt werden.
- Die Fleischqualität wurde durch höhere Stichblutmengen positiv beeinflusst, wie geringfügig höhere Anfangs- und End-pH-Werte und niedrigere Leitfähigkeitswerte zeigten.
- Die Verlängerung des Betäubungs-Stech-Intervalls von 15 Sekunden auf 3 Minuten führte zu einer Verschlechterung des Ausblutungsgrades mit höheren Hämoglobingehalten in der Muskulatur und höheren relativen Lebergewichten, beeinflusste die untersuchten Fleischqualitätsparameter aber eher positiv, wie höhere End-pH-Werte und niedrigere Leitfähigkeitswerte zeigten.
- Alle untersuchten Parameter der Fleischqualität und des Ausblutungsgrades, mit Ausnahme des Hämoglobingehaltes der Muskulatur, wurden durch die Rasse bzw. Kreuzung beeinflusst. So wiesen Pietrain-Schweine geringere relative Stichblutmengen, niedrigere relative Lebergewichte, niedrigere Anfangs- und End-pH-Werte, eine höhere Leitfähigkeit sowie helleres Fleisch mit höherem Rot- und Gelbanteil auf.
- Der Einfluss des MHS-Genotyps auf das Lebergewicht als Maß für den Ausblutungsgrad und auf die Fleischqualitätsparameter pH-Wert, Leitfähigkeit und Fleischhelligkeit sowie Gelbanteil war signifikant. Die ho-

mozygot-stressempfindlichen Schweine wiesen, aufgrund der hohen Schlachtausbeute, die geringsten relativen Lebergewichte und schlechtesten Fleischqualitätseigenschaften auf.

## 7 Summary

### **Control of exsanguination in pig slaughtering regarding animal welfare and its possible effects on degree of bleeding out and meat quality**

The aim of this study was to examine the effectiveness of exsanguination, which means the amount of sticking blood in pig slaughtering, depending on the stunning method, the interval between stunning and sticking and the genetic in relation to parameters of animal welfare, meat quality and especially the degree of bleeding out.

The investigation was carried out with 1835 pigs in the experimental slaughterhouse of the Bavarian State Institute for Agriculture, Grub. There were 7 different races and crossbreeds available: Deutsches Edelschwein (DE), Deutsche Landrasse-Sauenlinie (DLS), Pietrain (PI), DLS x DE, DE x DLS, PI x DLS and PI x (DE x DLS). From the purebred Pietrain the MHS-genotype (this means the stress sensitivity) was known. After electrical stunning with induction of cardiac arrest, partly head-only-stunning, the animals were weighed automatically on a horizontal scale (live body weight) before sticking. After exsanguination in the horizontal bleeding position, which was carried out by two different experienced workers, the pigs were weighed (on a rail balance) for a second time before entering the scalding tunnel. The blood loss in percent of the live weight was calculated on basis of the two weights (live body weight minus carcass weight after blood loss). After shackling and transfer onto the bleeding rail, the debleded pigs were examined on faculties of perception and sensation (reflexes, breathing/gasping, muscle activity, vocalisation). The stun-stick-time was extended to 3 minutes for a part of the pigs (118). For detecting the degree of bleeding out, the liver weight (in % of carcass weight) and the haemoglobin content in diaphragma muscle were used. Parameters of meat quality were measured by pH-, conductivity- and colour-values.

The following results were obtained:

- The total blood amount had no effect on the appearance of cornealreflex, gasping and muscle activity of the debleeded pigs. Vocalisation by the animals decreased with rising relative sticking blood loss. The irreversibility of stunning was doubtful in 13 % of the animals, in spite of the use of cardiac-arrest, 3 % of the animals were definitely not irreversibly stunned.
- The experience of the worker, who stuck the pigs, had significant influence on the yield of sticking blood. The more experienced worker achieved the higher blood amount.
- With rising amount of sticking blood, a better degree of bleeding out was achieved, relative liver weights and haemoglobin contents in muscle decreased.
- Meat quality was influenced in a positive way by higher yields of sticking blood, shown by slightly higher initial and ultimate pH-values and less conductivity-values.
- The extension of the stun-stick-time from 15 seconds to 3 minutes led to a lower amount of sticking blood with higher residual blood content of muscle and higher relative liver weights, but influenced the meat quality also in a positive way, shown by higher ultimate pH-values and less conductivity-values of muscles.
- All examined parameters of meat quality and degree of bleeding out, with the exception of the residual blood content in the muscle, were influenced by race and crossbreeds. So Pietrain showed lower relative blood loss yields, lower relative liver weights, lower initial and ultimate pH-values, higher conductivity-values and less colour-values with a higher part of red and yellow ( $a^*$ - and  $b^*$ -values).
- The influence of the MHS-genotype on the relative liver weight and on the meat quality parameters pH-value, conductivity and colour was significant. The homozygous stress-sensitive pigs showed the lowest

relative liver weights because of their higher carcass yield and the worst characteristics of meat quality.

## 8 Literaturverzeichnis

- AICHINGER, C. (2003):  
Die Implementierung der Elektrobetäubung im zugelassenen Schlachtbetrieb beim Rind  
Vet. Med. Diss., München
- ANIL, M.H. (1991):  
Studies on the return of physical reflexes in pigs following electrical stunning  
Meat Science 30, 13-21.
- ANIL, M.H., FORDHAM, D.P., RODWAY, R. (1990):  
Plasma  $\beta$ -endorphin increase in sheep after electrical stunning  
Br. Vet. J. 146, 476-477
- ANIL, M.H., MCKINSTRY, J.L. (1992):  
The effectiveness of high frequency electrical stunning in pigs  
Meat Science 31, 481-491
- ANIL, M.H., MCKINSTRY, J.L., WOTTON, S.B. (1997):  
Elektrische Betäubung und Schweineschlachtung  
Fleischwirtschaft 77, 473-476
- ANIL, M.H., WHITTINGTON, P.E., MCKINSTRY, J.L. (2000):  
The effect of the sticking method on the welfare of slaughter pigs  
Fleischwirtschaft 55, 315-319
- AUGUSTINI, C. (1983):  
Ursachen unerwünschter Fleischbeschaffenheit beim Schwein  
Fleischwirtschaft 63, 297-307
- BAUER, F. (1984):  
Datenanalyse mit SPSS  
Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo
- BECHTOLD, E. (1950):  
Der praktische Fleischer  
Hugo Matthaes Verlag, Stuttgart
- BECKMANN, G. (1991):  
Neue Wege in der Stresssanierung beim Schwein  
Schweinewelt, 16, 25-26
- BEUTLING, D. (1984):  
Der Hämoglobin-Diffusionstest - ein neues Schnellverfahren zum Nachweis von Blut in Fleisch  
Mh. Vet. Med. 39, 308-310

- BEUTLING, D., HAHLOWEG, S. (1981):  
Untersuchungen über die Feststellung des Ausblutungsgrades von Schlachttieren  
Mh. Vet. Med. 36, 620-624
- BEUTLING, D., SCHLENKER, H., NEUMANN, A. (2000):  
Probleme bei der Bestimmung und Trennung von Hämoglobin aus Fleisch  
Fleischwirtschaft 80, 97-98
- BICKHARDT, K. (2001):  
Erbliche und angeborene Störungen  
Aus: Waldmann, K.-H., Wendt, M.:  
Lehrbuch der Schweinekrankheiten  
3. durchg. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin, 241-251
- BIEDERMANN, G., PESCHKE, W., WITTMANN, W., BRANDT, C. (1997):  
Stand der Zucht-, Mast- und Schlachtleistung von Pietrain-Schweinen unterschiedlichen MHS-Genotyps aus zwei Zuchtherden  
Archiv für Tierzucht 40, 535-547
- BIEDERMANN, G., JATSCH, C., PESCHKE, W., LINDNER, J.P., WITTMANN, W. (2000):  
Mast- und Schlachtleistung sowie Fleisch- und Fettqualität von Pietrain-Schweinen unterschiedlichen MHS-Genotyps und Geschlechts  
Archiv für Tierzucht 43, 151-164
- BIEGELMEIER, G. (1986):  
Wirkung des elektrischen Stroms auf Menschen und Nutztiere:  
Lehrbuch der Elektropathologie  
VDE-Verlag, Berlin, Offenbach
- BINKE, R. (2003):  
Vom Muskel zum Fleisch  
Mitteilungsblatt der BAFF Kulmbach 42, 347-354
- BLACKMORE, D.K. (1983):  
Practical problems associated with slaughter of stock  
Stunning of animals at slaughter  
G. Eikelenboom, Martin Nijhoff Publishers for the Commission of the EEC
- BLACKMORE, D.K. (1989):  
Electrocardiograms as an aid in assessing the stunning of cattle and pigs  
N. Z. Vet. J. 37, 59-61
- BLACKMORE, D.K., NEWHOOK, J.C. (1981):  
Insensibility during slaughter of pigs in comparison to other domestic stock  
N. Z. Vet. J. 29, 219-222
- BOJOVIC, P., PERUNOVIC, M., ZIVKOVIC, D., BARAC, M. (1992):  
Effect of sex, weight and pre-slaughter rest on dynamics and degree of bleeding of pig carcasses  
Tehnologija Mesa 33, 203-207

- BORZUTA, K. (1971):  
Degree of bleeding and some meat quality characteristics of pigs stunned with high frequency current  
Roczniki Instytutu Przemysłu Miesnego 8, 17-24
- BREM, G., BRENIG, B. (1992):  
Molekulare Genotyp-Diagnostik des Malignen Hyperthermie-Syndroms zur effizienten Zucht stressresistenter Schweine  
Wiener Tierärztliche Monatsschrift 79, 301-305
- BRIESE, A. (1996):  
Studie zum Verhalten von Schlachtschweinen nach einer Elektrobetäubung (Reaktionsprüfungen am Auge sowie an Rüsselscheibe und Nasenscheidewand) mit besonderer Berücksichtigung der Elektrodenposition, Stun-Stick-Time und der verwendeten Stromformen  
Vet. Med. Diss., Berlin
- BROCK, F. (1987):  
Modellversuche und Feldstudie zur Effektivität der elektrischen Betäubung bei Schlachtschweinen unter Berücksichtigung von Tierschutz-, Technologie- und Fleischqualitätsaspekten  
Vet. Med. Diss., Berlin
- BÜNNIG, K. (1968):  
Bestimmung von Muskelfarbstoff und Blutfarbstoff im Fleisch  
Mitteilungsblatt der BAFF Kulmbach 22, 718-724
- BÜNNIG, K., HAMM, R. (1974):  
Über den Hämoglobin- und Myoglobingehalt der Skelettmuskulatur von Schwein und Rind  
Z Lebensmitteluntersuchungen, 332-338
- CHANNON, H.A., PAYNE, A.M., WARNER, R.D. (2000):  
Halothan genotype, pre-slaughter handling und stunning method all influence pork quality  
Meat Science 56, 291-299
- CHANNON, H.A., PAYNE, A.M., WARNER, R.D. (2002):  
Comparison of CO<sub>2</sub> stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality  
Meat Science 60, 63-68
- CHEAH, K.S., CHEAH, A.M., JUST, A. (1998):  
Identification and characterization of pigs prone to producing 'RSE' (Reddish-pink, soft and exudative) meat in normal pigs  
Meat Science 48, 249-255
- CHILDERS, A.B. (1987):  
New advances in human slaughter of meat animals  
J. Food Prot. 50, 709-710
- CHRISTENSEN, L., BARTON GADE, P. (1997):  
Neue Entwicklungen beim Handling von Schweinen in Schlachtbetrieben  
Fleischwirtschaft 77, 604-607

CHRYSTALL, B.B., DEVINE, C.E., NEWTON, K.G. (1981):  
Residual blood in lamb muscles  
Meat Science 5, 339-245

CYBULSKA, J., JELJASZEWICZ, J. (1966):  
Bacteriostatic activity of serum against staphylococci  
Journal of Bacteriology 91, 953

DALY, C. (2005):  
The use of alternative electrical frequencies for stunning of livestock before religious slaughter  
Tagung: "Tierschutz bei der rituellen Schlachtung", 2. April 2005, Berlin

DEMMLER, T. (1988):  
Die Erzeugung eines irreversiblen Herzkammerflimmerns bei Schwein und Schaf mittels elektrischen Stromes nach vorangegangener Gehirndurchströmung (elektrische Betäubung) als tierschutzgerechte und tierseuchenrechtlich empfehlenswerte Tötungsmethode im Seuchenfall  
Vet. Med. Diss., Berlin

DIELSCHNEIDER, U. (1985):  
Untersuchungen zur pH-Wert-Entwicklung und ihrer möglichen Beziehung zum Ausblutungsgrad bei Rehfleisch  
Vet. Med. Diss., Gießen

ENGDAHL, B.O. (1954):  
Eine Schnellmethode zur objektiven Feststellung der Wässrigkeit, der Ausblutung und des Säuregrades beim Fleisch  
Nord Vet. Med. 6, 298-302

ENGEL, N. (1987):  
Die elektrische und die CO<sub>2</sub>-Betäubung unter Berücksichtigung der physiologischen Reaktionsabläufe  
Vet. Med. Diss., Hannover

FÁBREGA, E., MANTECA, X., FONT, J., GISPERT, M., CARRIÓN, D., VELARDE, A., RUIZ DE LA TORRE, J.L., DIESTRE, A. (2004):  
A comparisan of halothane homozygous negative and positive pietrain sire-lines in relation to carcass and meat quality and welfare traits  
Meat Science 66, 777-787

FEHRENBURG, C. (1991):  
Untersuchung zur Anwendung einer synchronen Gehirn-Herz-Durchströmung bei der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen mit besonderer Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Fleischqualität  
Vet. Med. Diss., Berlin

FELDHUSEN, F., NEUMANN-FUHRMANN, D., HÄGER, O., WENZEL, S. (1987):  
Farbmessung im Rahmen der Fleischqualitätsprüfung mit dem Minolta-Chromameter  
Züchtungskunde 59, 146-157

FIEDLER, I., ENDER, K., WICKE, M., MAAK, S., LENGERKEN, G.V., MEYER, W. (1999):

Structural and functional characteristics of muscle fibres in pigs with malignant hyperthermia susceptibility (MHS) and different meat quality  
Meat Science 53, 9-15

FISCHER, K.: (1999)

Aktuelles aus der internationalen Fleischforschung:  
MHS-Genotyp, Muskelstruktur, Elektrostimulation, intramuskulärer Fettgehalt, Stress  
Fleischwirtschaft 79, 76-78

FLEMING, H.P., BLUMER, T.N., CRAIG, H.B. (1960):

Quantitative estimations of myoglobin and hemoglobin in beef muscle extracts  
J. Anim. Sci. 19, 1164-1171

FREITAG, D. (1994):

Untersuchungen zum Einfluss einer synchronen Gehirn-Herz-Durchströmung bei der Elektrobetäubung von Schlachtschweinen (in einer Restraaineranlage) auf das Verhalten der Tiere nach der Betäubung und auf die Fleischqualität mit besonderer Berücksichtigung des Stromflusses  
Vet. Med. Diss., Berlin

FRIES, R., THALLER, G. (2003):

Aktueller Stand und Perspektiven der molekularen Tierzucht  
Züchtungskunde 75, 324-335

FUJII, J., OTSU, K., ZORZATO, F., DELEON, S., KHANNA, V.K., WEILER, J.K., O'BRIEN, P.J., MACLENNAN, D.H. (1991):

Identification of a mutation in porcine Ryanodin receptor associated with malignant hyperthermia  
Science 253, 448-451

GEROLD, M., STOLLE, A. (1994):

Elektrostimulation. Untersuchungen über den Einfluss auf den Ausblutungsgrad von Rinderschlacht tierkörpern  
Fleischwirtschaft 74, 864-869

GILBERT, K.V. (1993):

Electrical stunning and slaughter in New Zealand  
Technical Report des Meat Industry Research Institute of New Zealand

GISSKE, W., GLEES A. (1964):

Untersuchungen über die Elektroschockbetäubung bei Schlachtschweinen  
Fleischwirtschaft 44, 118-121

GNEIST, M. (2000):

Zur Situation der Schlachthöfe in Niederösterreich aus der Sicht der Logistik und des Tierschutzes im Bereich Entladung bis Betäubung  
Vet. Med. Diss., Wien

- GÖTZE, U. (1968):  
Untersuchungen zur Bestimmung des Ausblutungsgrades im Fleisch von Schlachttieren  
Fleischwirtschaft 48, 294-298
- GÖTZE, U. (1969):  
Bestimmung von Myoglobin und Hämoglobin im Fleischextrakt von Schlachttieren  
Fleischwirtschaft 49, 901-906
- GÖTZE, U. (1971):  
Farbe und Ausblutungsgrad der Muskulatur von Schlachttieren - Untersuchungen über den Gehalt an Myoglobin im Muskelgewebe  
Habil.-Schrift, Berlin
- GÖTZE, U. (1974):  
Elektrophoretische Untersuchungen des Muskelpresssaft gesunder normalgeschlachteter, notgeschlachteter und verendeter Schlachtschweine zur Bestimmung des Ausblutungsgrades im Fleisch  
Fleischwirtschaft 54, 234-239
- GRANDIN, T. (2001):  
Preventing return to sensibility  
[www.grandin.com](http://www.grandin.com)
- GRANDIN, T. (2004):  
How to determine insensibility  
[www.grandin.com](http://www.grandin.com)
- GRÄTZ, H., DRAWER, K. (1984):  
Automatische Schweinebetäubungsanlage  
Fleischwirtschaft 64, 257-259
- GREGORY, N.G. (1985):  
Stunning and slaughter of pigs  
Pig News and Information 6, 407-413
- GREGORY, N.G. (1998):  
Animal welfare and meat science  
CAB International, New York
- GREGORY, N.G. (2005):  
Recent concerns about stunning and slaughter  
Meat Science 70, 481-491
- GREGORY, N.G., WILKINS, L.J., WOTTON, S.B. (1985):  
Effect of cardiac arrest at slaughter on residual blood content of hide  
J. Sci. Food Agric. 36, 1104-1106
- GREGORY, N.G., WOTTON, S.B. (1984):  
Time to loss of brain responsiveness following exsanguination in calves  
Res. Vet. Sci. 37, 141-143

- GUÁRDIA, M.D., ESTANY, J., BALASCH, S., OLIVER, M.A., GISPERT, M., DIESTRE, A. (2004):  
Risk assesment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs  
Meat Science 67, 471-478
- HAMM, R. (1975):  
Muskelfarbstoff und Fleischfarbe  
Fleischwirtschaft 55, 1415-1418
- HECHT, H. (1986):  
Reifung und Zartheit von Fleisch  
In: Chemisch-physikalische Merkmale der Fleischqualität  
Kulmbacher Reihe Bd. 6, 39-66  
Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach
- HEINZ, G., EGGINGER, R., MIRNA, A. (1972):  
Methodik zur Bestimmung der Gesamtblutmenge sowie des Ausblutungsgrades von Tieren  
Fleischwirtschaft 52, 82-83
- HESS, E. (1968):  
Bestimmung des Ausblutungsgrades  
Fleischwirtschaft 48, 292-293
- HOENDERKEN, R. (1978):  
Elektrische bedwelming van slachtvarkens  
Vet. Med. Diss., Utrecht
- HOFFMANN, A. (2003):  
Die Implementierung der Schuss-Schlag-Betäubung im zugelassenen Schlachtbetrieb beim Rind  
Vet. Med. Diss., München
- HOFMANN, K. (1992):  
Methode zur Trennung und Bestimmung von Blut- und Muskelfarbstoff in Fleisch  
Vortrag 27. Kulmbacher Woche, BAFF Kulmbach
- HOFMANN, K., BLUECHEL, E. (1991):  
Blood and muscle pigments separation and determination by SDS electrophoresis  
Fleischwirtschaft 71, 1290-1293
- HOLLEBEN, K. v. (2004):  
Stand, Ausblick und Bewertung der Schweinebetäubungsverfahren europa- und weltweit  
Rundschau für Fleischhygiene und Lebensmittelüberwachung 8, 171-174
- HOLST, S. (1999):  
Assessment of time to ensure irreversible stunning of pigs in 90 % CO<sub>2</sub>  
Proc. Intern. Workshop on stunning systems for pigs and animal welfare, Billund, Denmark, 25-27 August 1999, Danish Meat Research Institute, Roskilde, DK

- HONIKEL, K.-O. (1992):  
Qualitätsprodukte erfordern geeignete Messmethoden  
In: Qualitätssicherung im Fleischbereich  
Kulmbacher Reihe Bd. 11, 1-18  
Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach
- HONIKEL, K.-O., HAMM, R. (1974):  
Über die Ursachen der Abnahme des pH-Wertes im Fleisch nach dem Schlachten  
Fleischwirtschaft 54, 557-560
- HONIKEL, K.-O., KIM, C. (1995):  
Über die Ursachen der Entstehung von PSE-Fleisch  
Fleischwirtschaft 65, 1125-1131
- KALBE, C., SCHOPPMAYER, A., FIEDLER, I., HARTUNG, M., ENDER, K. (2005):  
Schlachtkörperzusammensetzung, Fleischqualität und Muskelstruktur verschiedener Schweinerassen  
Fleischwirtschaft 85, 100-102
- KALLWEIT, E., ELLENDORF, F., DALY, C., SMIDT, D. (1989):  
Physiologische Reaktionen bei der Schlachtung von Rindern und Schafen mit und ohne Betäubung  
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 96, 89-92
- KARLSON, P., DOENECKE, D., KOOLMAN, J. (1994):  
Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler  
14. neubearbeitete Auflage  
Verlag Thieme, Stuttgart, New York
- KARSCH, W. (1997):  
Vergleichende Untersuchungen zur Fleischqualität von Rinderschlachtkörpern nach horizontaler und vertikaler Bandschlachtung unter besonderer Berücksichtigung des Ausblutungsgrades  
Vet. Med. Diss., Berlin
- KIRCHNER, S. (1992):  
Untersuchungen über die Auswirkungen elektrischer Betäubungsverfahren auf pH-Wert-Entwicklung und Ausblutungsgrad bei Schlachtschweinen  
Vet. Med. Diss., Gießen
- KIRTON, A.H., FRAZERHURST, L.F., WOODS, E.G., CHRYSTALL, B.B. (1981):  
Effect of electrical stunning method and cardiac-arrest on bleeding efficiency, residual blood and blood splash in lambs  
Meat Science 5, 347-353
- KLINGER, I. (1966):  
Zur quantitativen Bestimmung des Blutgehaltes der Muskulatur von Schlachtrindern mittels indirekter Hämagglutination  
Vet. Med. Diss., Zürich

- KORTMANN, R. (1987):  
Auswirkungen der elektrischen Betäubung von Schlachtschweinen auf die  
Fleischqualität  
Vet. Med. Diss., München
- KRÜGER, G., HELLNER, F. (1981):  
Normativgerechte Elektrobetäubung - ein wichtiger Faktor zur Verbesserung der  
Fleischqualität von Schlachtschweinen  
Fleisch 35, 203-206
- KUHN, G., KUCHENMEISTER, U., HOPPENBROCK, K.H., ENDER, K. (2003):  
Postmortale Veränderungen der Fleischqualität beim Schwein  
Fleischwirtschaft 83, 95-98
- LAMBOOY, E. (1981):  
Some neural and physiological aspects of electrical and mechanical stunning in  
ruminants  
Vet. Med. Diss., Utrecht
- LAMBOOY, E. (1990):  
Anwendung von CO<sub>2</sub> zur Betäubung von Schlachtschweinen  
Fleischwirtschaft 70, 1161-1166
- LAMBOOY, E., RING, C. (1989):  
Elektrische Betäubung von Schlachttieren  
Fleischwirtschaft 69, 1347-1350
- LAWRIE, R.A. (1966):  
Meat Science  
Pergamon Press, Oxford, UK
- LAWRIE, R.A. (1991):  
Meat Science  
The eating quality of meat  
5<sup>th</sup> Edition  
Pergamon Press, Oxford, UK
- LITTMANN, E., PESCHKE, W. (1994):  
Welches Messverfahren ist das beste?  
DGS 46, 19-21
- LÖFFLER, G., PETRIDES, P.E. (2002):  
Biochemie und Pathobiochemie  
7. Auflage  
Springer-Verlag, Berlin
- LUNDSTRÖM, K., ESSEN-GUSTAVSSON, B., RUNDGREN, M., EDFORS-  
LILJA, I., MALMORS, G. (1989):  
Effect of halothane genotype on muscle metabolism at slaughter and its relation-  
ship with meat quality: A within litter comparison  
Meat Science 25, 251-263

- MÄNNL, M. (1994):  
Betäubung und Entblutung von Schwein und Rind  
In: Schlachten von Schwein und Rind  
Kulmbacher Reihe Bd. 13, 62-83  
Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach
- MARTENS, H. (1998):  
Physiologie der Muskulatur und das MHS-Gen des Schweines  
Archiv für Tierzucht 41, 179-192
- MICKWITZ, G.v., HEER, A., DEMMLER, H., REHDER, H., SEIDLER, M. (1989):  
Tierschutz- und tierseuchengerechtes Töten von Rindern, Schweinen und Schafen mit Hilfe einer transportablen Elektro-Anlage zur Schlachttierbetäubung  
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 96, 127-13
- MICKWITZ, G.v., HEUKING, L. (1990):  
Mindestanforderungen an den Umgang mit Schlachtschweinen von der Verladung, Transport, Ausruhezzeit bis zur Betäubung aus der Sicht des Tierschutzes und der Fleischqualität  
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 97, 28-30
- MICKWITZ, G. v., LEACH, T.M. (1977):  
Schlachttierbetäubung in den Mitgliedstaaten der EG  
Mitteilungen über Landwirtschaft Nr. 30  
Kommission der Europäischen Gemeinschaften
- MOJE, M. (1993):  
Ausblutungsgrad beim Schwein nach unterschiedlichen Entblutungsverfahren  
Mitteilungsblatt der BAFF Kulmbach 32, 164-169
- MOJE, M., SCHURR, B. (2003):  
Betrieb einer CO<sub>2</sub>-Backloaderanlage  
Fleischwirtschaft 83, 122-125
- MONIN, G., LARZUL, C., LE ROY, P., CULIOLI, J., MOUROT, J., ROUSSET-AKRIM, S., TALMANT, A., TOURAILLE, C., SELLIER, P. (1999):  
Effects of the halothan genotype and slaughter weight on texture of pork  
J. Anim. Sci. 77, 408-415
- MUSSMANN, T., SCHMITTEN, F., JÜNGST, H., THOLEN, E., SCHEPERS, K. (1994):  
Vergleichende Untersuchungen zur Methodik der Helligkeits- und Farbmessung bei Schweinefleisch  
Züchtungskunde 66, 359-372
- NEUMANN, A., BEUTLING, D. (2001):  
Bestimmung des Hämoglobingehaltes in normal, mangelhaft und nicht ausgebluteter Broilermuskulatur  
Fleischwirtschaft 81, 82-84
- OELLINGRATH, I.M., IVERSEN, A., SKREDE, G. (1990):  
Quantitative determination of myoglobin and haemoglobin in beef by high-performance liquid chromatography  
Meat Science 28, 313-320

- OGIELSKI, L., WARTENBERG, L. (1959):  
Die Analyse des Ausblutungsgrades bei Schlachttieren, der Fleischreifung und der Haltbarkeit des Schweinefettes unter Berücksichtigung des Ausblutungsindex  
Arch. Lebensmittelhyg. 10, 99-101
- OGIELSKI, L., WARTENBERG, L. (1961):  
Über den Einfluss der verlängerten Zeit zwischen der Betäubung und dem Öffnen der Blutgefäße bei Kälbern auf die Intensität der Fleischausblutung und auf den Verlauf der Glykogenolyse  
Arch. Lebensmittelhyg. 7, 153-156
- PANTALEON, I., BOUTON, P. (1962):  
Recherches hématimétriques sur les viandes de cheval  
Proc. 3rd Symposium WAVFH, Nizza 1962  
zitiert nach GÖTZE (1971)
- PATTERSON, D.S.P., ALLEN, W.M. (1966):  
Myoglobin content of calf muscle  
Vet. Rec. 78, 823-824
- PETERS, H. (1996):  
Qualitätsbewertung von Fleisch und Fleischerzeugnissen  
Aus: Sielaff, H.:  
Fleischtechnologie  
1. Auflage  
Behr's Verlag, Hamburg, 559-606
- POEL, W.E. (1949):  
Effect of anoxic anoxia on myoglobin concentration in striated muscle  
American Journal of Physiology 156, 44-51
- PUSCH, I. (1949):  
Vergleichende Untersuchungen zur Bestimmung der Wässrigkeit und des Ausblutungsgrades in der Fleischbeschau  
Vet. Med. Diss., Gießen
- RADAN, M. (1955):  
A malachite green test for the determination of efficiency of bleeding  
Nord Vet. Med. 7, 564-572
- RANDERSON, J. (2004):  
An eye for danger  
New Scientist 2461
- REDER, W. (1944):  
Die Feststellung des Ausblutungsgrades im Fleisch der Schlachttiere mittels Farbreaktion (Löfflerblau-Karbolfuchsin-Verfahren)  
Z. Fleisch-Milchhyg. 54, 181-182
- REMIEN, D. (2001):  
Gasmessungen bei der Kohlendioxidbetäubung von Schweinen in einem ausgewählten Schlachtbetrieb  
Vet. Med. Diss., Hannover

- RICHTER, W., WERNER, E., BÄHR, H., WEGHE, H.v.d. (1992):  
Grundwerte der Tiergesundheit und Tierhaltung  
3. überarbeitete Auflage  
Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart
- RICKANSRUD, D. A., HENRICKSON, R.L. (1967):  
Total pigment and myoglobin concentration in four bovine muscles  
Journal of Food Science 32, 57-61
- ROEMMELE, O., SCHAPER, U., WALL, D.v. (1961):  
Ein praktisches Gerät zur dokumentarischen Feststellung des pH-Wertes, der  
Durchsaftung und des Blutgehaltes von Fleisch und Fleischwaren  
Fleischwirtschaft 13, 208-209
- ROGALSKY, W. (1939):  
Ein Beitrag zur Beurteilung der Fleischgüte mit Hilfe der Feststellung des Ausblu-  
tungsgrades durch Bestimmung des Hämoglobingehaltes der Muskulatur von  
Schlachtrindern nach Sahli im Vergleich mit der Fließpapiermethode  
Vet. Med. Diss., Gießen
- ROSENVOLD, K., ANDERSEN, H.J. (2003):  
Factors of significance for pork quality - a review  
Meat Science 64, 219-237
- SACK, E., BRANSCHIED, W. (1990):  
Zur Erfassung des "PSE"-Status von Schweinehälften mit unterschiedlichen  
Messmethoden  
Mitteilungsblatt der BAFF Kulmbach 29, 140-146
- SACKMANN, G. (1988):  
Einfluss der Ausruhezeit sowie von Umgebungs- und technologischen Faktoren  
auf klinische und fleischhygienische Parameter bei Schlachtschweinen  
Vet. Med. Diss., Berlin
- SCHARNER, E., MÜLLER, T., DOMEL, G. (1997):  
Versuche zur Farbmessung am Musculus longissimus dorsi am Ende der  
Schlachtphase  
Tierärztliche Umschau 52, 286-289
- SCHEPER, J. (1979):  
PSE- und DFD-Fleisch und Stressanfälligkeit unserer Schlachttiere insbesondere  
der Schlachtschweine  
SVZ 79, 38-43
- SCHLENKRICH, H. (1989):  
Technologie der Schweineschlachtung  
Aus: WITTENBORN, J., LANGER, H., EYERMANN, H., SCHLENKRICH, H.,  
ROSOWSKI, G., FRITZSCH, K.H.:  
Fleischgewinnung  
4. verb. Auflage  
Fachbuchverlag, Leipzig, 45-50

- SCHÖNBERG, F. (1937):  
Die Fließpapierprobe, ein einfaches Hilfsmittel zur Feststellung des Ausblutungs- und Wässrigkeitsgrades in Fleisch, insbesondere bei der Beurteilung von Not- und Krankschlachtungen  
Berliner Tierärztliche Wochenschrift 50, 510-512
- SCHÖNBERG, F. (1943):  
Die Hämoglobin-Pseudoperoxidase-Probe mit Guajaktinktur als Hilfsmittel zur Feststellung des Ausblutungsgrades im Fleisch der Schlachttiere  
Z. Fleisch-Milchhyg. 53, 194-196
- SCHÖNBERG, F. (1944a):  
Eine weitere einfache Probe (Hämoglobin-Auslaugprobe) zur Feststellung des Ausblutungsgrades im Fleisch der Schlachttiere  
Z. Fleisch-Milchhyg. 54, 86
- SCHÖNBERG, F. (1944b):  
Die Natronlauge-Kochprobe als weiteres Hilfsmittel zur objektiven Feststellung  
Z. Fleisch-Milchhyg. 54, 110
- SCHÖNBERG, F., ZIETSCHMANN, O. (1958):  
Die Ausführung der tierärztlichen Fleischuntersuchung mit besonderer Berücksichtigung der anatomischen Grundlagen und der gesetzlichen Bestimmungen  
5. Auflage  
Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg
- SCHÜTT-ABRAHAM, I. (1990):  
Elektrobetäubung von Schlachtschweinen  
Fleischwirtschaft 70, 171
- SCHÜTT-ABRAHAM, I., LEVETZOW, R., WORMUTH, H.J., WEISE, E. (1983):  
Aspekte der Hochvoltbetäubung von Schlachtschweinen  
Fleischwirtschaft 63, 387-397
- SCHÜTTE, A. (2000):  
Klinische Beurteilung mit CO<sub>2</sub> betäubter Schweine  
Herbsttagung Landesarbeitsgemeinschaft für Schlachthofwesen, Fleischhygiene und Tierschutz, Ingolstadt, Bayern, 26. Oktober 2000
- SCHÜTTE, A., BOSTELMANN, N. (2001):  
Statuserhebung zur Effektivität der CO<sub>2</sub>-Betäubung von Schlachtschweinen in der BRD gemäß der derzeit gültigen Tierschutz-Schlachtverordnung, sowie Untersuchungen über deren Beeinflussung durch externe und interne (tierspezifische) Faktoren  
BMVEL-Forschungsauftrag 97HSO32
- SCHWABENBAUER, K. (1989):  
Tierschutzrechtliche Aspekte des Schlachtens von Tieren  
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 96, 87-89

- SCHWÄGELE, F. (1992):  
Erfassung von Qualitätsmerkmalen nach dem Schlachten  
In: Qualitätssicherung im Fleischbereich  
Kulmbacher Reihe Bd. 11, 48-72  
Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach
- SCHWÄGELE, F. (2004):  
Struktur und Funktion des Muskels  
Fleischwirtschaft 84, 168-171
- SEFRIN, P. (2005):  
Grundlagen der Basisreanimation bei Erwachsenen  
Dtsch. Ärzteblatt 102, 1215-1221
- SHENK, J.H., HALL, J.L., KING, H.H. (1934):  
Spectrophotometric characteristics of hemoglobins  
J. Biol. Chem. 105, 741-752
- SILBERNAGL, S., DESPOPOULOS, A. (2003):  
Taschenatlas der Physiologie  
6. Auflage  
Verlag Thieme, Stuttgart, New York
- SJÖBERG, J. (2005):  
Persönliche Mitteilung, Fa. Anitec, Malmö, Schweden
- STEGEN, D. (1993):  
Tierschutzgerechte Behandlung von Schlachtschweinen  
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 100, 58-61
- STOLLE, A., PAULICK, C. (1990):  
Ausblutungsgrad bei Schlachttieren - Möglichkeiten einer objektiven Bestimmung  
und Beurteilung  
Fleischwirtschaft 70, 274-284
- STOLLE, A., REUTER, G. (1981):  
Kriterien zur Erfassung unzulässig gewonnenen Schweinefleisches  
Fleischwirtschaft 61, 1179-1186
- STÜBER, J. (2000):  
Die Anwendung der Elektrobetäubung bei der rituellen Schlachtung des Rindes,  
Untersuchungen zu Ausblutungsgrad, pH-Wertentwicklung und Schäden am  
Schlachttierkörper  
Vet. Med. Diss., Leipzig
- SUDAKOW, N.W. (1990):  
Gewinnung und Verwertung von Schlachttierblut  
1. Auflage  
Fachbuchverlag Leipzig
- SWATLAND, H.J. (1982):  
Cardiac activity during the exsanguination of pigs in an abattoir  
Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 15, 161-164

SWATLAND, H.J. (1983):  
Measurement of electrical stunning, rate of exsanguination and reflex activity of pigs in an abattoir  
Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 16, 35-38

SYBESMA, W. (1980):  
Stunning of pigs now and in the future  
Pig News and Information 1, 87-88

SZKUCIK, K. (2000):  
Relation between bleeding degree of slaughter pigs and the spoilage of pork  
Medycyna Weterynaryjna 56, 452-455

TEXDORF, I., GAUDLITZ, K. (1990):  
Betäuben oder Töten?  
Fleischwirtschaft 70, 170

THIEMIG, F. (1996):  
Schlachtung von Schweinen, Rindern und kleinen Wiederkäuern  
Aus: Sielaff, H. (Hrsg.):  
Fleischtechnologie  
1. Auflage  
Behr's Verlag, Hamburg, 276-278

THIEMIG, F., OELKER, P., BUHR, H. (1997):  
Einfluss des Entblutungsverfahrens auf die Fleischbeschaffenheit beim Schwein  
Fleischwirtschaft 77, 1030-1033

THORNTON, H. (1968):  
Textbook of Meat Inspection  
5th Edition  
Verlag Baillière, Tindall and Casell, London

TROEGER, K. (1990):  
Schlachten: Tierschutz und Fleischqualität  
Fleischwirtschaft 70, 266-272

TROEGER, K. (1996):  
Schlachten - Fleischqualität contra Tierschutz  
Fleischwirtschaft 76, 113

TROEGER, K. (2005):  
Gewinnung von Fleisch  
Aus: PRÄNDL, O., FISCHER, A., SCHMIDHOFER, T., SINELL, H.J.:  
Fleisch: Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung  
Verlag Ulmer, Stuttgart  
noch unveröffentlicht

TROEGER, K., MACHOLD, U., MOJE, M., BEHRSCHMIDT, M. (2004):  
Gasbetäubung von Schweinen  
Fleischwirtschaft 84, 104-106

- TROEGER, K., MOJE, M., SCHURR, B. (2005):  
Kontrolle der Entblutung  
Fleischwirtschaft 85, 107-110
- TROEGER, K., WOLTERS DORF, W. (1988):  
Die Messung der Stressbelastung des Schweines während der Schlachtung  
Fleischwirtschaft 68, 249-254
- TROEGER, K., WOLTERS DORF, W. (1989a):  
Die Elektrobetäubung von Schlachtschweinen  
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 96, 100-103
- TROEGER, K., WOLTERS DORF, W. (1989b):  
Elektrobetäubung und Fleischbeschaffenheit beim Schwein  
Fleischwirtschaft 69, 1210-1218
- TROEGER, K., WOLTERS DORF, W. (1990):  
Electrical stunning and meat quality in the pig  
Fleischwirtschaft 70, 901-904
- VIMINI, R.J., FIELD, R.A., RILEY, M.L. ET AL. (1983):  
Effect of delayed bleeding after captive bolt stunning on heart activity and blood removal in cattle  
J. Anim. Sci. 57, 628-631
- WAGNER, J. (1997):  
Praktische Kardiologie für Studium, Klinik und Praxis  
Verlag de Gruyter, Berlin, New York
- WALTER, C. (1991):  
Vergleichende Studien zur Elektrobetäubung beim Schlachtschwein bei alleiniger Gehirn- oder Gehirn- und Herzdurchströmung unter dem besonderen Aspekt der Fleischqualität und des Ausblutungsgrades  
Vet. Med. Diss., Berlin
- WARRISS, P.D. (1977):  
The residual blood content of meat - a review  
J. Sci. Food Agric. 28, 457-462
- WARRISS, P.D. (1978):  
Factors affecting the residual blood content of meat  
Meat Science 2, 155-159.
- WARRISS, P.D. (1984):  
Exsanguination of animal at slaughter and the residual blood content of meat  
Vet. Rec. 115, 292-295
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N., ADAMS, S.J.M., LOWE, D.B. (1990):  
Variation in haem pigment concentration and colour in meat from British pigs  
Meat Science 28, 321-329
- WARRISS, P.D., LEACH, T.M. (1978):  
The influence of slaughter method on the residual blood content of meat  
J. Sci. Food Agric. 29, 608-610

- WARRISS, P.D., RHODES, D.N. (1977):  
Haemoglobin concentrations in beef  
J. Sci. Food Agric. 28, 931-934
- WARRISS, P.D., WILKINS, L.J. (1987):  
Exsanguination of meat animals  
Group on the protection of farm animals  
Seminar on pre-slaughter stunning of food animals, Europ. Conf., Brussels
- WARRISS, P.D., WOTTON, S.B. (1981):  
The effect of cardiac arrest on exsanguination in pigs  
Res. Vet. Sci. 31, 82-86
- WEISS, H. (1953):  
Ein Beitrag zur Klärung der Fehlerquellen bei der Bestimmung des Ausblutungsgrades von Schlachttieren unter besonderer Berücksichtigung des Myoglobins  
Vet. Med. Diss., Berlin
- WENDT, M., BICKHARDT, K., HERZOG, A., FISCHER, A., MARTENS, H., RICHTER, T. (2000):  
Belastungsmiopathie des Schweines und PSE-Fleisch: Klinik, Pathogenese, Ätiologie und tierschutzrechtliche Aspekte  
Berl. u. Münch. Tierärztl. Wschr. 113, 173-190
- WENZLAWOWICZ, M.v. (2005):  
Persönliche Mitteilung  
Beratungs- und Schulungsinstitut für schonenden Umgang mit Zucht- und Schlachttieren, Schwarzenbek
- WENZLAWOWICZ, M.v., HOLLEBEN, K.v., BRIESE, A., HEUKING, L. (1994):  
Tierschutz am Schlachthof  
Berl. u. Münch. Tierärztl. Wschr. 107, 237-244
- WENZLAWOWICZ, M.v., SCHÜTTE, A., HOLLEBEN, K.v., ALTROCK, A.v., BOSTELMANN, N., ROEB, S. (1998):  
Felduntersuchung der MIDAS-Schweinebetäubungsanlage mit Inarco-System hinsichtlich Tierschutz und Schlachtkörperqualität  
Fleischwirtschaft 78, 731-734
- WENZLAWOWICZ, M.v., HOLLEBEN, K.v., MICKWITZ, G.v. (1996):  
Fleischqualität beim Schwein  
Fleischwirtschaft 76, 301-307
- WILLAM, A., LORENCZ, A. (1994):  
Einfluss der Entblutungsart auf die Fleischbeschaffenheit beim Schwein  
Fleischwirtschaft 74, 101-103
- WILLIAMS, J.C., FIELD, R.A., MILLER, G.J., KUNSMAN, J.E., RILEY, M.R. (1981):  
Proceedings of the Reciprocal Meat Conference 34, 63

- WITTENBORN, J., LANGER, H., EYERMANN, H., SCHLENKRICH, H., ROSOWSKI, G., FRITZSCH, K.H. (1989):  
Fleischgewinnung  
4. verb. Auflage  
Fachbuchverlag Leipzig
- WITTMANN, W., GÖTZ, K.-U., PESCHKE, W., LINDNER, J.P., HAUSER, M. (1998)  
Einfluss des MHS-Genotyps auf die Mast- und Schlachtleistung von Pietrain-schweinen und PI x DL-Mastendprodukten in der Stationsprüfung  
Archiv für Tierzucht 42, 139-147
- WOLTERS DORF, W., ARNETH, W., MINTZLAFF, H.J. (2000):  
Ausblutungsgrad beim Rind nach unterschiedlicher Rückenmarkzerstörung  
Fleischwirtschaft 80, 135-139
- WOLTERS DORF, W., TROEGER, K. (1987a):  
Schlachttechnik zur Verringerung des PSE-Anteils beim Schwein  
Fleischwirtschaft 67, 724-730
- WOLTERS DORF, W., TROEGER, K. (1987b):  
Betäubungs- und Entblutetechnik zur Verbesserung der Fleischbeschaffenheit  
Mitteilungsblatt der BAFF Kulmbach 26, 6887-6893
- WORMUTH, H.J., BULLING, E. (1982):  
Aspekte des rituellen Schlachtens (Schächten) - eine Bestandsaufnahme  
Berl. u. Münch. Tierärztl. Wschr. 95, 261-265
- WORMUTH, H.J., SCHÜTT-ABRAHAM, I. (1986):  
Zur tierschützerischen, fleischhygienischen und rechtlichen Problematik einer mit der Tötung zusammenfallenden Betäubung von Schlachttieren  
Fleischwirtschaft 66, 1420-1424
- WOTTON, S.B. (1995):  
Stunning in pigs  
Meat Focus Int. 4, 105-108.
- WOTTON, S.B. (1996):  
Sticking techniques and exsanguination in pigs, sheep and calves  
Meat Focus Int. 7, 234-237
- WOTTON, S.B., ANIL, M.H., WHITTINGTON, P.E., MCKINSTRY, J.L. (1992):  
Pig slaughtering procedures: head-to-back stunning  
Meat Science 32, 245-255
- WOTTON, S.B., GREGORY, N.G. (1986):  
Pig slaughtering procedures: Time to loss of brain responsiveness after exsanguination or cardiac arrest  
Res. Vet. Sci. 40, 148-151
- WYSS, R. (1985):  
Die elektrische Betäubung von Schlachtschweinen  
Beobachtungen, Stromlaufvermessungen, Objektivierung des Betäubungsgrades  
Vet. Med. Diss., Bern

- N. N. (1993):  
Richtlinie 93/119/EG des Rates vom 22. Dezember 1993 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Schlachtung oder Tötung  
(ABl. Nr. L 340 S. 21)
- N. N. (1997):  
Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG  
Verfahren zur Probenahme und Untersuchung von Lebensmitteln, Tabakerzeugnissen, kosmetischen Mitteln und Bedarfsgegenständen / BgVV  
Loseblattausgabe, Stand Februar 1997  
Beuth Verlag, Berlin, Köln
- N. N. (1998):  
Pschyrembel  
Klinisches Wörterbuch  
258. Auflage  
Verlag de Gruyter, Berlin, New York
- N. N. (2001):  
Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz e. V.  
Tierschutzgerechtes Schlachten von Rindern, Schweinen, Schafen und Ziegen  
Merkblatt Nr. 89
- N. N. (2002a):  
Bundestierärztekammer e. V.  
Änderungsvorschläge der Bundestierärztekammer zur Tierschutz-Schlachtverordnung
- N. N. (2002b):  
Allgemeine Verwaltungsvorschrift über die Durchführung der amtlichen Überwachung nach dem Fleischhygienegesetz und dem Geflügelfleischhygienegesetz vom 19. Februar 2002  
(AW Fleischhygiene - AVVFIH)  
(Banz. Nr. 44a)
- N. N. (2003):  
Tierschutzgesetz in der Fassung vom 25.11.2003  
(TierschG)  
(BGBl. I S. 2304)
- N. N. (2004a):  
European Food Safety Authority (EFSA)  
Welfare aspects of animal stunning and killing methods  
Scientific Report of the Scientific Panel for Animal Health and Welfare on a Request from the Commission related to Welfare Aspects of Animal Stunning and Killing Methods
- N. N. (2004b):  
Fleischhygienegesetz in der Fassung vom 4.11.2004  
(BGBl. I S. 2688, ber. S. 3657)

N. N. (2004c)

Verordnung über die hygienischen Anforderungen und amtlichen Untersuchungen beim Verkehr mit Fleisch in der Fassung vom 8.12.2004

(Fleischhygiene-Verordnung - FIHV)

(BGBl. I S. 3353, ber. 3657)

N. N. (2004d):

Verordnung zum Schutz von Tieren im Zusammenhang mit der Schlachtung oder Tötung in der Fassung vom 4. Februar 2004

(Tierschutz-Schlachtverordnung - TSchIV)

(BGBl. I S. 214)

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Troeger für die Überlassung des Dissertationsthemas und die stets freundliche und jederzeit gewährte wissenschaftliche Betreuung und konstruktive Hilfe.

Herrn Moje möchte ich für die wohlwollenden und hilfreichen Ratschläge beim Erstellen der Arbeit und die Unterstützung und Beratung bei allen auftretenden Fragen danken.

Für die großartige Hilfe bei den Untersuchungen möchte ich mich ganz herzlich bei den Mitarbeitern des Instituts für Technologie bedanken, insbesondere bei Frau Dr. Dederer, Herrn Haida, Frau Ott und Frau Kolb sowie Herrn Dobrovinsky.

Posthum möchte ich Herrn Erhardt für seine Mühe bei der statistischen Auswertung danken.

Bei Herrn Peschke und Herrn Dr. Götz möchte ich mich für die hervorragenden Arbeitsbedingungen im Versuchsschlachthaus Grub der LfL bedanken.

Außerdem danke ich allen Mitarbeitern in Grub, insbesondere Herrn Oppermann und Herrn Rieder, für ihr Entgegenkommen bei den Untersuchungen.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. von Wenzlawowicz und Frau Dr. von Holleben vom BSI Schwarzenbek für die wertvollen Anregungen beim Anfertigen der Arbeit bedanken.

Herrn Univ.-Prof. Dr. Stolle danke ich für die Übernahme des Themas.

Der Tierärztlichen Vereinigung für Tierschutz e. V. gilt mein Dank für die Förderung der Arbeit im Rahmen eines Stipendiums von Dezember 2005 bis November 2006.

Bei Alfred bedanke ich mich für die kritische Durchsicht des Manuskripts.