

**Universität für Bodenkultur Wien**

Department für Nachhaltige Agrarsysteme

Institut für Nutztierwissenschaften



# **Einflussfaktoren auf den pH-Wert des Fleisches von Rindern in Luxemburg**

**Masterarbeit  
am Institut für Nutztierwissenschaften**

Vorgelegt von

**Annick Wolter**

Matrikelnummer: 01141069

Betreuer:

Univ. Prof. Dr. med. vet. Christoph Winckler

Wien

Mai 2018



## DANKSAGUNG

Ein ganz besonderer Dank gilt Univ. Prof. Dr. med. vet. Christoph Winckler für die großartige Unterstützung und hervorragende Betreuung.

Außerdem möchte ich mich bei einigen Personen aus meiner Heimat Luxemburg bedanken:

- Merci un d'Baueren, d'Veihändler an Schluechthaiser, déi un menger Studie deelgeholl hun, ouni Iech wier dëss Aarbecht nët méiglech gewiecht.
- Een ganz groussen Merci un meng Famill, besonneg un meng Elteren déi mir, nët nëmmen während menger Masteraarbecht, mee iwwert main ganz Studium mat Geduld an Rot zur Sait stungen.
- Dann wëll ech och mengen Frënn Merci soen, déi ëmmer een oppent Ouer fir mech haaten an fir Ooffenkung gesuergt hun!



# Inhaltsverzeichnis

<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>I</b>
<b>1. EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
Ziel und Forschungsfragen .....	2
<b>2. STAND DER WISSENSCHAFT .....</b>	<b>3</b>
2.1. Stress .....	3
2.1.1. Definition.....	3
2.1.2. Stressachsen, Auswirkungen und Messung .....	3
2.2. Fleischqualitätsmangel DFD .....	4
2.2.1. Umwandlung vom Muskel in Fleisch .....	4
2.2.2. Definition und Merkmale .....	5
2.2.3. Kontroverser pH-Schwellenwert.....	6
2.2.4. Vermarktung und finanzielle Konsequenzen .....	7
2.3. Mögliche Einflussfaktoren für die Entstehung von DFD-Fleisch .....	8
2.3.1. Management- und tierbezogene Faktoren am Betrieb.....	9
2.3.1.1. Managementbezogene Faktoren.....	9
Fütterung.....	9
Handling.....	10
Haltungsbedingungen .....	10
Klimatische Bedingungen.....	11
2.3.1.2. Tierbezogene Faktoren .....	11
Rasse bzw. genetische Ursachen .....	11
Geschlecht und Schlachalter.....	13
2.3.2. Faktoren in Bezug auf Transport und Sammelstelle.....	14
2.3.2.1. Gesetzliche Grundlagen Tier-Transport.....	14
2.3.2.2. Managementbezogene Faktoren.....	15
Verladen.....	15
Umgebungstemperatur.....	16
Transportdauer.....	16
Bestimmungsort .....	17
Vermischen von fremden Tieren.....	17
2.3.3. Schlachthof .....	18
2.3.3.1. Managementbezogene Faktoren.....	18
Handling und Entladen .....	18
Wartezeit.....	19
2.3.3.2. Tierbezogener Faktor .....	20
Schlachtkörpermerkmale.....	20
2.4. Identifikation von Tieren mit erhöhtem DFD-Risiko .....	20
<b>3. TIERE, MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>21</b>
3.1. Fakten über die luxemburgische Landwirtschaft .....	21
Schlachtviehversicherung in Luxemburg (CAAB).....	21
3.2. Auswahl der Viehhandelsunternehmen Betriebe und Tiere.....	22
3.3. Erhebungen .....	23
3.3.1. Betrieb .....	23

3.3.2. Transport .....	24
3.3.3. Sammelstelle .....	25
3.3.4. Schlachthof .....	25
3.4. Datenverarbeitung und statistische Auswertung .....	26
<b>4. ERGEBNISSE .....</b>	<b>27</b>
4.1. Deskriptive Statistik .....	27
4.1.1. Darstellung der Ergebnisse der beobachteten Schlachtrinder .....	27
4.1.2. Verhaltensbeobachtung der Rinder beim Verladen und Entladen .....	30
4.2. Einflussfaktoren auf pH-Wert als kontinuierliches Merkmal .....	34
4.2.1. Vorselektion .....	34
4.2.2. Multivariablen Modell .....	35
4.3. Einflussfaktoren auf pH-Wert als binäres Merkmal (Grenzwert pH =5,7) .....	37
4.3.1. Vorselektion .....	37
4.3.2. Multivariablen Modell .....	38
<b>5. DISKUSSION UND VERBESSERUNGSMÄßNAHMEN .....</b>	<b>39</b>
5.1. Methodische Aspekte .....	39
5.2. DFD-Fälle in der untersuchten Stichprobe .....	39
5.3. Interpretation der ermittelten Einflussfaktoren .....	40
5.3.1. Tierbezogene Indikatoren .....	40
Rasse, Alter, Geschlecht und Schlachtkörperklassifizierung .....	40
5.3.2. Managementbezogene Indikatoren .....	41
5.3.2.1. Schlachthof .....	41
5.3.2.2. Umgebungstemperatur .....	42
5.4. Interpretation der Verhaltensbeobachtung .....	42
5.5. Verbesserungsmaßnahmen der identifizierten Einflussfaktoren .....	43
5.5.1. Rasse und EUROP .....	43
5.5.2. Umgebungstemperatur .....	44
<b>6. EMPFEHLUNGEN ZUR MINIMIERUNG VON DFD-FLEISCH .....</b>	<b>44</b>
Am Betrieb .....	45
Transport/Sammelstelle .....	45
Am Schlachthof .....	46
<b>7. SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>46</b>
<b>8. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>47</b>
<b>9. ABSTRACT .....</b>	<b>48</b>
<b>10. LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>49</b>
<b>11. ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>57</b>
<b>12. TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>58</b>
<b>13. ANHANG .....</b>	<b>59</b>

# 1. Einleitung

In der Rindfleischproduktion muss sichergestellt werden, dass Produktion, Transport und Verarbeitung mit angemessenen Standardverfahren vom Betrieb bis zum Verzehr durchgeführt werden. Fleischkonsumenten fordern qualitativ hochwertige und sichere Fleischprodukte (Pérez-Linares et al., 2015; Ponnampalam et al., 2016). Mängel in der Lieferkette können jedoch zu verminderter Schlachtkörperqualität und damit zu unzufriedenen Verbrauchern und Umsatzeinbußen führen. Zusätzlich erwarten die Verbraucher eine Garantie für das Wohlbefinden der Tiere (Keeling, 2005; Schaefer et al., 1997).

Sowohl die Fleischqualität als auch das damit verbundene Tierwohl werden durch mehrere Faktoren beeinflusst (Chulayo et al., 2012; Hemsworth et al., 2011; Stockman et al., 2013; Vimiso und Muchenje, 2013). Die Prozesse des Handlings, Verladens, Transportierens und Entladens von Rindern, vom Betrieb bis zum Schlachthof können zu Stress führen (Broom, 2014; Chulayo et al., 2012; T. Grandin, 1997). Welche Auswirkungen dieser Stress auf das Tier hat, hängt sowohl von den intrinsischen Faktoren des Tieres als auch von den extrinsischen Faktoren der Umwelt ab (Gallo und Huertas, 2016). Durch physiologische Veränderungen und Verhaltensveränderungen versuchen die Tiere in einer neuen und ungewohnten Umgebung zurechtzukommen (Bourguet et al., 2011; Broom, 2005; Chulayo et al., 2012; Le Neindre et al., 1996).

In der Phase vor der Schlachtung kann Stress die Fleischqualität verringern und zu hohen wirtschaftlichen Verlusten führen. Dazu zählen reduzierte Schlachtkörpergewichte, verstärktes Vorkommen von Hämatomen, hohe endgültige pH-Werte sowie das Auftreten von DFD-Fleisch (Bourguet et al., 2011; Chulayo et al., 2012; Hemsworth et al., 2011; Miranda-de la Lama et al., 2013; Miranda-de la Lama et al., 2014). Bei der ungestörten Fleischreifung wird das im Muskel vorhandene Glykogen zu Laktat abgebaut, was zu einer deutlichen pH-Absenkung im Fleisch führt. Chronischer Stress bei Rindern vor dem Schlachten führt zur Erschöpfung der Muskelglykogenreserven (Morzel et al., 2003). Demnach steht weniger Glykogen nach der Schlachtung für die Säuerung des Fleisches zur Verfügung. Die Folge ist ein hoher endgültiger pH-Wert im Fleisch und eine mögliche Bildung von DFD-Fleisch (Adzitey und Nurul, 2011; Apple et al., 2005; Atkinson, 2000; Gardner et al., 2014; Hanson et al., 2000; Immonen und Puolanne, 2000; Knowles et al., 2014; Lacourt und Tarrant, 1985; Ponnampalam et al., 2016; Shackelford et al., 1994; Warriss, 2010). Die Grenzwerte werden kontroversiell diskutiert, aber üblicherweise wird bei einem pH-Wert 24 Stunden nach der Schlachtung von über 6,0 von DFD (*dark, firm and dry*) oder DCB (*dark cutting beef*)-Fleisch gesprochen. Das Fleisch ist aufgrund seiner dunklen Farbe, schlechten Wasserbindevermögens und geringen Geschmacks für den menschlichen Verzehr unerwünscht und vermindert den Wert des Fleisches (Broom, 2014; Pipek et al., 2003; Scanga et al., 1998; Shackelford et al., 1994; Viljoen et al., 2002; Wulf et al., 2002). Dieses Qualitätsproblem kommt weltweit vor und führt je nach Häufigkeit zu erheblichen Verlusten.

Auch in Luxemburg treten wiederholt DFD- oder DCB- Tiere auf, und es besteht diesbezüglich Interesse an der Vermeidung dieses Problems. Vor allem die Schlachtviehversicherung hat sich aus ökonomischen Gründen mit diesem Thema

beschäftigt. Da das DFD-Fleisch nicht als „genussuntauglich“ gilt, sondern lediglich als „minderwertiges“ Fleisch angesehen wird, werden die finanziellen Einbußen nicht mehr von der Schlachtviehversicherung getragen, sondern müssen von den Landwirten übernommen werden.

Eine Vielzahl von Faktoren und deren Interaktionen können den pH-Wert im Fleisch beeinflussen. Das Phänomen ist komplex und eine epidemiologisch ausgerichtete Herangehensweise erscheint als geeignet, um in der Wertschöpfungskette Ansatzpunkte zur Minimierung des Vorkommens von pH-Wert-bedingten Fleischqualitätsmängeln bzw. DFD-Fleisch festzulegen und die Qualität eines wertvollen Produktes zu bewahren (Ponnampalam et al., 2016).

## **Ziel und Forschungsfragen**

Das Ziel dieser Arbeit ist die Identifizierung von Belastungsfaktoren im Zusammenhang mit Transport und Schlachtung, die in Beziehung mit der Fleischqualität von Rindern stehen. Dadurch soll die Grundlage für ein fachgerechtes Management und damit besseres Tierwohl und eine bessere Fleischqualität geschaffen werden.

Die Forschungsfrage lautet:

Welche den Bereichen Heimbetrieb, Transport und Schlachthof zuordenbaren Faktoren stehen im Zusammenhang mit dem postmortalen pH-Wert als Maß für die Rindfleischqualität?

Dabei sollen sowohl tierbezogene (z.B. Rasse) als auch managementbezogene Parameter (Haltungssystem, Umgang) berücksichtigt werden.

## **2. Stand der Wissenschaft**

### **2.1. Stress**

#### **2.1.1. Definition**

Stress ist eine Reaktion des Körpers auf einen als belastend einzustufenden Faktor (Moberg, 2000). Ziel ist die hohe Reaktionsbereitschaft des Körpers, sowie die Aufrechterhaltung der Homöostase, also des Erhalts des inneren Milieus des Körpers. Wiederholte Stressbelastung kann die körperlichen Reaktionen verändern, die die Art der Stressreaktion entweder dämpfen, verschlimmern oder verändern. Längerfristig kann eine Unterdrückung der Immunantwort auftreten (Warriss, 2010). Die Homöostase kann wiederhergestellt werden, aber wenn ein Stressor erneut auftritt, können Störungen des homöostatischen Zustands zu einer psychischen, physiologischen und pathologischen Veränderung führen. Diese Pathologien können sich als verändertes Verhalten, verminderter Immunschutz oder als veränderter Stoffwechsel, der sich entweder auf Wachstum und/oder Produktion auswirkt, manifestieren (Chen et al., 2015).

Stressreaktionen werden durch unterschiedliche Faktoren ausgelöst (Warriss et al., 1984, 1990) :

- Physikalische Faktoren z.B.: Hitze und Kälte
- Chemische Faktoren z.B.: Über-, Unterversorgung mit Nährstoffen, Toxine, niedriger Blutzucker
- Soziale oder psychische Faktoren z.B.: Rangordnung, Isolierung

Diese Faktoren werden von einem Organismus auf verschiedene Arten empfunden. Nachdem der Körper einen Stressor als belastend wahrgenommen hat, reagiert dieser mit einer Kampf- oder Flucht-Reaktion („flight or fight“) (Moberg, 2000). Viele Ereignisse, wie die vorherige Erfahrung der Tiere, tragen dazu bei, wie sie auf neue Stresssituationen reagieren (Burdick et al., 2011).

#### **2.1.2. Stressachsen, Auswirkungen und Messung**

Wenn Tiere einem Stressor ausgesetzt sind, wird das sympatho-adrenale System aktiviert und führt unmittelbar zur Ausschüttung der Hormone Adrenalin und Noradrenalin (Katecholamine) von der Nebenniere in den Blutstrom. Diese Hormone bereiten das Tier für die Kampf-oder Flucht-Reaktion vor und sind deshalb nur kurzzeitig im Blutstrom vorhanden, und daher problematisch zu messen (Ferguson et al., 2001; Knowles et al., 2014; Siegel and Honaker, 2014). Anschließend wird die Information an das Hypothalamus-Hypophyse-System weitergeleitet. Daraufhin werden Kortikosteroide im Cortex der Nebennierenrinde produziert und als Kortisol in den Blutstrom freigesetzt. Die Katecholamine fördern den Abbau von Leberglykogen, um den Gehalt an Glucose im Blut zu erhöhen, der den Muskeln im aktiven Zustand zur Verfügung steht. Kortikosteroide hingegen fördern, während der adaptiven Phase der Stressreaktion, die Resynthese von Leberglykogen mit Aufrechterhaltung des Glucose-Spiegels im Blut durch Glukoneogenese. Aus diesem Grund zirkulieren Kortikosteroide länger im Blut und können leichter

nachgewiesen werden als Katecholamine (Adrenalin und Noradrenalin) (Siegel and Honaker, 2014; Warriss, 2010)

Die Katecholamine lösen die sekundäre Antwort auf Stress aus und verursachen eine Erhöhung der Herzfrequenz, der Atemfrequenz und des Blutdrucks und stimulieren die Glykogenolyse. Glukose und ein erhöhter Glykogengehalt im Blutplasma stehen dem Körper anschließend zur Verfügung (Knowles et al., 2014; Siegel and Honaker, 2014; Warriss, 2010). Stressbedingte Veränderungen der Muskelzellmembranen führen zu einem erhöhten Gehalt des Enzyms Kreatinkinase und einem erhöhten Laktatgehalt im Blut (Warriss, 2010). Im Gegensatz zu hohem Glukose- und Laktatgehalt im Blut bei kurzfristigem Stress sind diese bei langanhaltendem Stress niedrig (Edwards et al., 2010).

Folglich wird zur Messung einer autonomen Antwort auf Stress meistens die Herzfrequenz herangezogen und für den neuroendokrinen Stressindikator wird die Ausschüttung von adrenalen Kortikosteroiden gemessen (Aktinson, 2000). Eine erhöhte Häufigkeit von Urinieren und Koten sind ebenfalls ein Zeichen, dass das Tier Stress ausgesetzt ist. Zudem können Merkmale des Schlachtkörpers Aufschluss über das vorherige Wohlbefinden der Tiere geben. Schlachtkörperschäden wie Blutergüsse und Knochenbrüche, sowie der Krankheitszustand und eine erhöhte Mortalität geben Kenntnis über einen möglichen belastend einzustufenden Stressor und eine unangemessene Handhabung (Broom, 2014).

Mögliche physiologische Indikatoren für Stress während des Transportes sind in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1** Physiologische Indikatoren für Stress während des Transportes (Knowles et al., 2014)

Stressfaktor	Physiologische Variable <sup>1</sup>
<b>Blutmessungen</b>	
Futtererzug	↑ FFA; ↓ Glykose; ↑ β –OHB; ↑ Urin
Dehydrierung	↑ Albumin; ↑ Osmolalität; ↑ PCV; ↑ Gesamtprotein
Körperliche Anstrengung	↑ CK; ↑ Laktat
Angst/Erregung	↑ Kortisol; ↑ PCV
Reisekrankheit	↑ Vasopressin
<b>Andere Messungen</b>	
Angst/Erregung und körperliche Anstrengung	↑ Herzfrequenz; ↑ Atmungsfrequenz
Überhitzung/Unterkühlung	Körpertemperatur; Hauttemperatur

<sup>1</sup> CK, Kreatin-Kinase; FFA, free fatty acid; β-OHB, β-hydroxybutyrate; PCV, packed cell volume

## 2.2. Fleischqualitätsmangel DFD

### 2.2.1. Umwandlung vom Muskel in Fleisch

Eine langandauernde Einwirkung von Stressoren bei Rindern vor dem Schlachten führt zur Erschöpfung der Muskelglykogenreserve. Die Abnahme der Glykogenreserven im Muskel

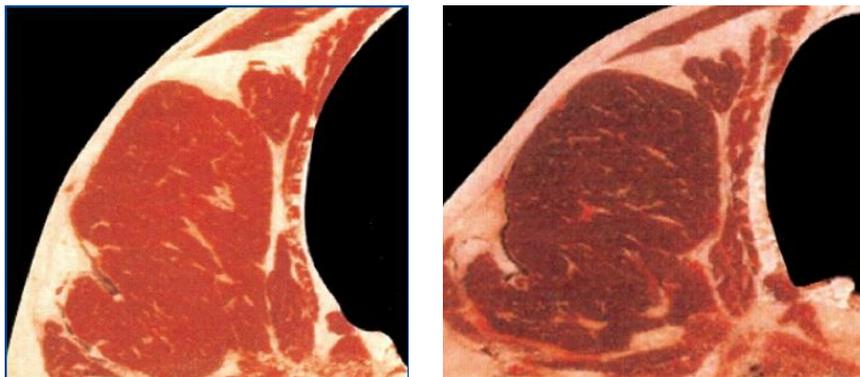
kann durch eine anhaltende körperliche Anstrengung des Tieres beschleunigt werden. Demnach steht weniger Glykogen nach der Schlachtung für die Säuerung des Fleisches zur Verfügung. Die Folge ist ein hoher endgültiger pH-Wert im Fleisch, der zu einer minderwertigen Rindfleischqualität führen kann (Adzitey und Nurul, 2011; Apple et al., 2005; Atkinson, 2000; Gardner et al., 2014; Hanson et al., 2000; Immonen und Puolanne, 2000; Knowles et al., 2014; Lacourt und Tarrant, 1985; Ponnampalam et al., 2016; Shackelford et al., 1994; Warriss, 2010). Das Muskelglykogen beim Schlachten ergibt sich aus der Differenz des Muskelglykogens in der Ruhephase am Betrieb und der Menge an Glykogen, die aufgrund von Stressoren vor dem Schlachten verloren geht (Gardner et al., 2014; McGilchrist et al., 2012). Das Wiederauffüllen der Muskelglykogenreserven bis zur Sättigung nach der Stressaussetzung läuft bei Rindern langsamer ab als bei anderen Tierarten, so dass Rinder eine längere Erholungsphase nach einer Stresssituation benötigen (McVeigh and Tarrant, 1982). Wenn bei Futterentzug wenig Glukose zur Verfügung steht, kommt es zur Mobilisierung von Körperfett aus der Leber. Die Leber enthält Glykogenreserven, die jedoch nach einem Tag bei Futterentzug abnehmen. Die Reserven von Glykogen innerhalb des Muskels verringern sich erst nach einigen Tagen ohne Futter. Jedoch verläuft der Glykogenabbau viel schneller ab, wenn der Muskel körperlicher Anstrengung ausgesetzt ist. (Knowles et al., 2014).

Die Hauptenergiequelle für die Muskelkontraktion sind Glukose und Fettsäuren aus dem Blut. Zusätzlich gibt es eine intramuskuläre Reserve in Form von Glykogen. Diese spielt die Hauptrolle als Substrat für den Energiestoffwechsel im Muskel, sowie für den postmortalen Stoffwechsel, bei dem der Muskel zu Fleisch wird. Diese Umwandlung von Muskeln zu Fleisch ist ein energieaufwendiger Prozess, der Adenosintriphosphat (ATP) fordert. Nach dem Ausbluten wird die Energie für den postmortalen Prozess hauptsächlich aus ATP gewonnen, das durch anaeroben Metabolismus und teilweise aus Phosphorylierung von ADP durch Kreatinphosphat gewonnen wird (Andersen et al., 2005). Nach der Schlachtung führt der anaerobe Metabolismus von Glykogen zur Bildung von Laktat und anschließendem Abfall des pH-Wertes. Wenn jedoch das Muskelglykogen zum Zeitpunkt der Schlachtung durch Stress aufgebraucht ist, wird demnach nicht genug Laktat für den weiteren Prozess produziert. Durch den Mangel an Laktat im Muskel, der für den normalen Abfall des Muskel-pH-Wertes während des postmortalen Metabolismus verantwortlich ist, wird die Umwandlung von Muskel in Fleisch erschwert und der pH-Wert bleibt hoch (Hanson et al., 2000; Immonen und Puolanne, 2000; Lacourt und Tarrant, 1985; Scanga et al., 1998; Shackelford et al., 1994).

### **2.2.2. Definition und Merkmale**

Unter Fleischqualität werden die sensorischen (Genusswert), ernährungsphysiologischen (Nährwert), hygienisch-toxikologischen (Gesundheitswert) und verarbeitungsphysiologischen Eigenschaften des Fleisches verstanden (Velik, 2008). Gutes Rindfleisch weist einen endgültigen pH-Wert von 5,4 – 5,6 auf (Ferguson et al., 2001). DFD-Fleisch (*dark, firm and dry*) oder „dark-cutting“ (DCB) ist ein Fleisch Qualitätsmangel mit einem endgültigen pH-Wert innerhalb 24-48 Stunden nach der Schlachtung von > 6 und resultiert in einer abnorm dunkelroten bis schwarzen Farbe (Adzitey und Nurul, 2011; Bartoš et al., 1993; Kreikemeier et al., 1998; Mounier et al., 2006). Der Muskel ist fest und trocken aufgrund eines hohen Wasserbindevermögens, das Wasser fest im Muskel bindet (Ponnampalam et al., 2016; Apple et al., 2005; Zhang et al., 2005). Das Fleisch weist eine

hohe Variation hinsichtlich Zartheit auf (Bass et al., 2010; Jeremiah et al., 1991; Silva et al., 1999) und eine geringe Schmackhaftigkeit (Viljoen et al., 2002; Wulf et al., 2002). Der hohe pH-Wert des Fleisches fördert außerdem das Wachstum von Mikroorganismen, welche Fehlgerüche und Schleimbildung bedingen und folglich die Haltbarkeit begrenzen (Gallo et al., 2003). Der zunehmende Trend der Vermarktung von Fleischprodukten in vakuumverpackter und gekühlter Form ist besonders problematisch für DFD-Fleisch, da es die Entwicklung von Fehleraromen und möglicherweise grüner Farbbildung fördert (Schwartzkopf-Genswein und Grandin, 2014). Weitere Qualitätsmängel wie Blutergüsse können mit dem Auftreten von DFD-Fleisch korrelieren, da Tiere mit Blutergüssen einem möglichen vorherigen Stressor ausgesetzt waren (Vimiso und Muchenje, 2013).



**Bild 1** Normale Fleischfarbe (links) und dunkle DFD-Fleischfarbe (rechts) (Miller, 2007)

### 2.2.3. Kontroverser pH-Schwellenwert

Die Festlegung des Schwellen-pH-Wertes als Kriterium für DFD ist umstritten und dieser wird in vielen Ländern sehr unterschiedlich definiert. Demnach ist es kompliziert, über mehrere Methoden hinweg zu vergleichen. Nach den *Meat Standards in Australia* (MSA) müssen die Schlachtkörper einen pH-Wert von weniger als 5,7 aufweisen (McGilchrist et al., 2012; Ponnampalam et al., 2016). Weitere Studien zeigen, dass der endgültige pH-Wert von 5,7 nicht überschritten werden sollte um eine angemessene Fleischqualität zu erhalten (Pulford et al., 2009; Warner et al., 2014; Young et al., 2004). Jedoch wird so die Häufigkeit von Schwarzfleischigkeit überschätzt und höhere wirtschaftliche Einbußen folgen als Konsequenz (Ponnampalam et al., 2016). Dies könnte in Australien der Grund sein für das erhöhte Auftreten von DFD-Fleisch (Tabelle 2). Die visuelle Beurteilung mittels Fleischfarbe sollte daher in die Klassifizierungsentscheidung mit einfließen. Andere Studien verwendeten einen endgültigen pH-Wert von 5,8 als Schwellenwert, ab dem die Schlachtkörper in ihrer Zartheit und der Qualitätserhaltung von frischem Fleisch negativ beeinflusst sind (Holdstock et al., 2014; Mach et al., 2008; Schwartzkopf-Genswein, 2014). Einige Forscher beziehen sich auf Fleisch mit einem pH-Wert über 5,9 (Ferguson et al., 2001), während andere einen pH-Wert von 6,0 und darüber verwenden (Apple et al., 2005). In Frankreich und Luxemburg wird Fleisch ebenfalls ab einem pH-Wert  $> 6$  als DFD-Fleisch klassifiziert (Caisse d'Assurance des Animaux de Boucherie, 2016; Mounier et al., 2006). Die letztere Schwelle scheint am besten geeignet zu sein, da größere Veränderungen des Muskels auftreten, wenn der pH-Wert über 6,0 ist, wie das erhöhte Wasserbindevermögen (Huff-Lonergan und

Lonergan, 2005) und die Entwicklung von festem Fleisch mit Geschmacksveränderungen. Die Widersprüchlichkeit bei der Definition von DFD und dessen Beurteilung, die für die Bewertung verwendet wird, ist ein wahrscheinlicher Grund für Unterschiede zwischen den Ländern (Tabelle 2). Es gibt noch weitere Methoden zur Beurteilung von DFD-Fleisch. Einige beurteilen das Fleisch basierend auf Farbe, während andere den pH-Wert von Fleisch oder die Muskelglykogen-konzentration verwenden (Ponnampalam et al., 2016). Es besteht das Risiko einer Fehlklassifizierung als DFD-Schlachtkörper, da die pH-Wert-Messungen nur in einem einzigen Muskel (meistens *longissimus dorsi*) durchgeführt werden. Aber nicht alle Muskeln mit hohem pH-Wert bilden auch dunkles Fleisch oder umgekehrt (Hughes et al., 2014) Demzufolge können Teilstücke eines Schlachtkörpers eine hohe Qualität aufweisen wobei andere Teile Schwarzfleischigkeit aufweisen können.

Das Merkmal der Zartheit spielt zusätzliche eine Rolle bei der Klassifizierung von DFD-Fleisch. Die Zartheit des normalen Fleisches verändert sich positiv im Laufe der Fleischreifung (Silva et al., 1999). Aus Sicht der Qualitätskontrolle, ist die Zartheit in der frühen postmortalen Phase jedoch bei einem pH-Wert von 5,8 – 6,3 beeinträchtigt (Purchas et al., 1999). Ab einem End-pH-Wert von über 6,3 kann das Fleisch jedoch wie normales Fleisch wiederum zarter sein als das mit der pH-Wert Spannweite von 5,8 – 6,3, die visuell nicht zu unterscheiden sind (Jeremiah et al., 1991; Warriss, 1990). Daher sollte der pH-Wert 5,8 als Schwellenwert für frisches Fleisch, zwischen 24-48 Stunden, gelten. Die Messungen sollen demnach in diesem Zeitraum nach der Schlachtung durchgeführt werden (Ponnampalam et al., 2016; Savell und Chairholder, 2005).

**Tabelle 2** Häufigkeit von DFD-Fleisch in verschiedenen Ländern

Land	DFD-Fleisch %	pH-Schwellenwert
Australien (Warner et al., 2014)	~9-11	pH > 5,7
Kanada (Holdstock et al., 2014)	1,3	pH > 5,8
Spanien (Mach et al., 2008)	13,9	pH ≥ 5,8
Frankreich (Mounier et al., 2006)	3,4	pH > 6

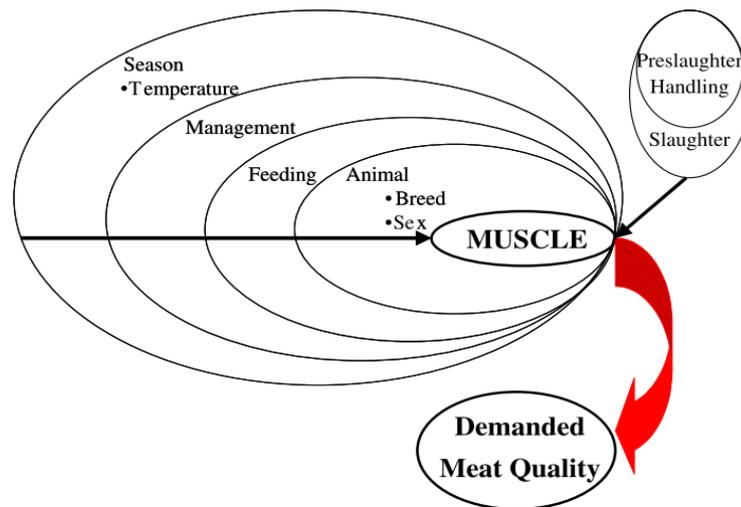
#### 2.2.4. Vermarktung und finanzielle Konsequenzen

Die Entscheidungsfaktoren für den Kauf von Rindfleisch sind Farbe, Geschmack, Zartheit, Saftigkeit und Nährstoffgehalt. Die Fleischfarbe ist das wichtigste Attribut, die den Kunden beim Kauf von frischem Fleisch beeinflusst, da die Verbraucher die Farbe als Zeichen für Frische und Gesundheit verwenden. Normales Fleisch ist leuchtend rot oder kirschrot und wird von der Mehrheit der Bevölkerung bevorzugt (Ponnampalam et al., 2016; Rosa et al., 2016). Die Konsumenten neigen dazu dunkles Fleisch anzulehnen, weil sie annehmen, dass dieses von alten, unterernährten, gestressten, schlecht gehaltenen oder kranken Tieren stammt oder verdorben ist. Dieses Fleisch ergibt nach Annahme der Konsumenten ein unerwünschten Geschmack und eine schlechte Lagerfähigkeit (Mounier et al., 2006; Ponnampalam et al., 2016). Sensorische Bewertungstests zeigen, dass Verbraucher normales Fleisch aufgrund des Geschmacks und der Farbe dem DFD-Fleisch vorziehen (Viljoen et al., 2002). Angesichts der Vermarktungsschwierigkeiten wird das Fleisch zu niedrigeren Preisen angeboten oder weiterverarbeitet. Die verminderte Qualität ist jedoch gut für die weitere Herstellung von Fleischverarbeitungswaren geeignet (z.B. Brühwurst) (Ponnampalam et al., 2016).

Je nach der vorgesehenen Verwendung des Fleisches kann DFD-Fleisch zu hohen Einbußen führen (Schwartzkopf-Genswein and Grandin, 2014). In Australien wird das Vorkommen von DFD-Fleisch auf 10 % geschätzt und die Kosten belaufen sich auf 0,45 AUS\$ pro Kilogramm Warmgewicht (Ponnampalam et al., 2016). Aufgrund der möglichen Bildung von DFD-Fleisch in nur Teilstücken, ist es fraglich, ob der gesamte Schlachtkörper mit einem fixen Wert monetär bewertet werden kann. In den Jahren 2012/13 und 2014/15 entschädigte die Schlachtviehversicherung in Luxemburg von rund 113.000 Rinder durchschnittlich 32.000 € für DFD-Schlachtkörper (Caisse d'Assurance des Animaux de Boucherie, 2016).

### **2.3. Mögliche Einflussfaktoren für die Entstehung von DFD-Fleisch**

Die Entstehung von DFD-Fleisch wird mit den Bedingungen am Betrieb und außerhalb des Betriebes (Transport, Schlachthof) in Verbindung gebracht. Unter dem Begriff der „Vor-Schlachtungs-Phase“ versteht man die Effekte, die vor dem Schlachten auf die Tiere einwirken. Diese Phase beginnt dementsprechend am Betrieb mit den Haltungsbedingungen, mit dem Handling und Verladen und anschließend vom Transport bis hin zu den Bedingungen am Schlachthof. Während dieser Phase müssen sich die Tiere einigen Herausforderungen stellen, die Stress auslösen können. Zum einen führt das Verlassen des Tieres aus seiner gewohnten Umgebung und der Veränderung der sozialen Struktur zu psychischen Stress. Zum anderen kann physiologischer Stress durch Wasser- und Futterentzug, durch Erschöpfung und durch die klimatischen Bedingungen entstehen (Adzitey und Nurul, 2011; Apple et al., 2005; Atkinson, 2000; Fazio und Ferlazzo, 2003; Ferguson et al., 2001; Gallo und Huertas, 2016; Grandin, 1997; Paranhos da Costa et al., 2014; Ponnampalam et al., 2016; Terlouw et al., 2008; Warriss, 1990). Die Bedingungen in der Vor-Schlachtungs-Phase können entweder am gesundheitlichen Zustand des Tieres oder nach der Schlachtung am Fleisch festgestellt werden (Atkinson, 2000). Ein unangemessener Umgang mit den Tieren während des Aufenthalts am Betriebs, beim Verladen, beim Transport, beim Entladen, während der Wartezeit oder während der Schlachtung kann den physiologischen Zustand des Tiers und in weiterer Folge den Schlachtkörper sowie die Fleischqualität negativ beeinflussen (Adzitey, 2011). Ein hoher endgültiger pH-Wert im Schlachtkörper deutet darauf hin, dass die Tiere während eines längeren Zeitraums körperlicher Anstrengung und psychischem Stress ausgesetzt waren (Morzel et al., 2003).



**Bild 2** Schematische Darstellung eines biologischen Ansatzes in der Fleischindustrie, mit gegenseitigen Interaktionsfaktoren, die in quantitativer Hinsicht verstanden werden müssen, um die idealen Entscheidungen für zukünftige Fleischqualitätskontrolle zu entwickeln (Andersen et al., 2005)

### 2.3.1. Management- und tierbezogene Faktoren am Betrieb

Zu den möglichen Einflussfaktoren am Betrieb, die das Auftreten von DFD-Fleisch begünstigen können, gehören managementbezogene wie Fütterungsmanagement, Haltungsbedingungen und Klimaverhältnisse sowie tierbezogene wie Geschlecht, genetische Herkunft sowie das individuelle Tierverhalten (Kenny und Tarrant, 1987a; Kreikemeier et al., 1998; Ponnampalam et al., 2016; Scanga et al., 1998).

#### 2.3.1.1. Managementbezogene Faktoren

##### **Fütterung**

Eine ausreichende Muskelglykogenkonzentration vor der Schlachtung ist essentiell, um einen normalen Muskel-pH-Wert in den Schlachtkörpern 24 Stunden nach dem Tod sicherzustellen (Ponnampalam et al., 2016). Der Glykogengehalt im Muskel ist reduziert wenn die Tiere einer Futterumstellung, einer energiearmen Fütterung sowie einem Futterentzug ausgesetzt sind (Andersen et al., 2005). Eine durch die Verabreichung energiereicher Rationen kann eine hohe Wachstumsrate erreicht werden und reduziert das Auftreten von DFD-Fleisch (McGilchrist et al., 2012).

Dagegen sind zum Beispiel auf Weiden gemästete Tiere anfälliger für die Ausprägung von DFD-Fleisch im Vergleich zu intensiv gemästeten Rindern (Hughes et al., 2014). Aus ernährungsphysiologischer Sicht ist die Energiedichte der Ration ein ausschlaggebender Faktor, der den Muskelglykogengehalt beeinflusst. Eine energiereiche Fütterung wirkt sich auf das Schlachtkörpergewicht, die Fettklasse, den Muskelglykogengehalt, die Reduktionsrate von Glykogen während des Transportes und der Schlachtung sowie auf die Muskelabkühlungsrate nach dem Schlachten aus (Ponnampalam et al., 2016). Eine weitere Erklärung kann jedoch auch eine Ration mit zu hohem Getreideanteil darstellen, die zu einer subklinischen Azidose führen kann und somit für eine geringere Futteraufnahme verantwortlich ist (Ponnampalam et al., 2016). Rinder müssen sich vom Transport oder anderem Stress vor der Schlachtung erholen. Aufgrund des Futterentzuges steht jedoch keine Glukose aus der Nahrung zur Verfügung, sondern wird aus der Leber herangezogen.

Demzufolge könnten hoch konzentrierte Rationen kurz vor dem Schlachten verfüttert werden um die Versorgung des Muskels mit Glykogen aus der Leber zu gewährleisten (Ferguson und Warner, 2008). Eine kurzfristige energiereiche Supplementierung hat sich als eine wirksame Strategie erwiesen, den Glykogenverlust vor der Schlachtung zu reduzieren und den pH-Wert im Fleisch zu verbessern (Immonen et al., 2000).

### **Handling**

Das Handling der Rinder am Betrieb hat einen Einfluss auf den gesundheitlichen Zustand des Tieres. Um Stress zu reduzieren und das Wohlbefinden der Tiere zu gewährleisten ist eine an die Tierart angepasste Handhabung unabdingbar. Erfahrenes Personal kennt die Fluchtzone der Rinder und kann am effizientesten die Tiere in die gewünschte Richtung treiben wenn in dieser Bewegungszone gearbeitet wird. Bedeutend ist auch den Balance-Punkt der Rinder zu berücksichtigen, diese Balancelinie auf Höhe der Schulter entscheidet, ob das Tier sich nach vorn oder rückwärts bewegt. Eine gute Mensch-Tier- Beziehung sollte so früh wie möglich aufgebaut werden (Rushen et al., 1999). Das individuelle Verhalten von Rindern ist sehr unterschiedlich. Die Tiere können abrupt stehen bleiben, starr stehen, rückwärtsgehen und weglaufen. Das Annähern des Menschen beim Handling kann ein Anti-Prädator-Verhalten auslösen, das jedoch durch regelmäßige Handhabung reduziert werden kann. Vor allem Jungvieh, das den Umgang mit den Menschen kennt, ist weniger anfällig gegenüber den Prozeduren des Verladens und Transportes (Le Neindre et al., 1996). Für die Sozialisierung der Tiere den Menschen gegenüber ist also eine Gewöhnung so früh wie möglich notwendig. Die Einstellung verantwortlicher Personen ist ein entscheidender Faktor für ein gutes Gelingen des Handlings (Siegel and Honaker, 2014). Ein aggressives Verhalten des Menschen dem Tier gegenüber und damit verbundenes grobes Handling nimmt erheblichen Einfluss auf die Häufigkeit von DFD-Fleisch (Frimpong et al., 2014). Die Erfahrungen durch unangemessenes Handling führen außerdem zu einem erhöhten Kortisolgehalt im Blut (Grandin, 2014a; Rushen et al., 1999). Eine Studie von Lensink et al. (2001) zeigt, dass das Haltungssystem sowie der wiederholte Umgang des Menschen mit den Tieren einen Einfluss auf die Vor-Schlachtungs-Phase haben. Kälber haben eine niedrigere Herzfrequenz beim Verladen wenn sie einen wiederholten Kontakt und Umgang mit dem Halter erfahren haben (Lensink et al., 2001). Des Weiteren reagieren Kälber aus Einzelboxen-Aufzucht unruhiger auf das Handling und den Transport im Vergleich zu Kälbern aus Gruppenhaltung (Trunkfield und Broom, 1991).

Bereits Tage vor der Schlachtung können stressvolle Situationen zum Glykogenabbau führen und DFD auslösen. Rinder sollen demnach in der Mastendphase ihre sozial stabile Gruppe nicht wechseln, da so Kampf- und Dominanzaktivitäten auftreten können und das Muskelglykogen schnell abnehmen kann (Bartoš et al., 1993; Tarrant, 1989). Die Wiederherstellung einer neuen Hierarchie in der Herde kann Tage dauern (Apple et al., 2005; Pulford et al., 2009). Eine angemessene Erholungszeit vor der Schlachtung ist somit erforderlich, um die Glykogenreserven wieder herstellen zu können und DFD-Fleisch zu vermeiden (Mounier et al., 2006; Warriss et al., 1984).

### **Haltungsbedingungen**

Neben dem Vermischen von fremden Tieren in der Mastendphase, kann eine zu hohe Besatzdichte auch als chronischer Stressor angesehen werden. Ein eingeschränktes Liegeplatzangebot der Rinder führt zu einer erhöhten Kortisolkonzentration im Blut (Munksgaard und Simonsen, 1996). Bei einem begrenzten Fressplatzangebot kommt es

häufig zu einem agonistischen Verhalten und die Fressdauer ist reduziert (Huzzey et al., 2006).

### ***Klimatische Bedingungen***

Von den Faktoren, die einen Einfluss auf DFD-Fleisch haben, ist die Umwelt am schwierigsten und am wenigsten zu kontrollieren (Ponnampalam et al., 2016). DFD-Fleisch kann im Vergleich zu normalem Fleisch mit einer leicht erhöhten Tagestemperatur assoziiert werden (Jones und Tong, 1989).

Der Einfluss der Klimabedingungen auf den pH-Wert der Tiere, beginnt schon am Betrieb selbst. Während der Sommerperiode besteht ein erhöhtes Risiko der Häufigkeit von DFD-Fleisch bei Rindern als im Winter (Węglarz, 2010). Der physikalische Stress an heißen Tagen führt zu einem reduziertes Fressverhalten und folglich steht weniger Muskel- und Leberglykogen zur Verfügung um die Homöostase aufrechtzuerhalten (Scanga et al., 1998). Des Weiteren steigt die Zahl von DFD-Schlachtkörpern im Frühling (Jones und Tong, 1989) und Herbst an. Wenn die täglichen Temperaturschwankungen hoch sind, verbrauchen Rinder zusätzliches Muskel- und Leberglykogen um sich an die die warmen Tagen folgende kalte Nächte anzupassen (Warren et al., 2010). Die Aussetzung an diese starken Temperaturschwankungen oder Temperaturextreme, bis zu drei Tage vor der Schlachtung, können die Fleischqualität negativ beeinflussen (Scanga et al., 1998). Der Effekt der saisonalen Variabilität auf DFD-Fleisch kann außerdem auf die mangelhafte Qualität des Futters im Sommer und Herbst zurückzuführen sein. Durch die schlechte Weidequalität entsteht eine reduzierte Glykogensynthese (Immonen, Schaefer, et al., 2000; Kreikemeier et al., 1998; Mach et al., 2008; Węglarz, 2010).

#### **2.3.1.2. Tierbezogene Faktoren**

Bei Tieren, die Stress ausgesetzt sind, spielen Tierart, Rasse, Geschlecht und Alter eine wesentliche Rolle hinsichtlich der Fleischqualität. So sind Nicht-Wiederkäuer erheblich empfindlicher gegenüber Stress als Wiederkäuer. Schweine bilden eher PSE-Fleisch, ein weiterer Qualitätsmangel der durch akuten Stress verursacht wird, wobei Wiederkäuer bei langfristigem Stress zu DFD-Fleisch neigen (Adzitey, 2011).

### ***Rasse bzw. genetische Ursachen***

Die Bildung von DFD-Fleisch bei Wiederkäuern steht im Zusammenhang mit genetischen Merkmalen, die den Pigmentgehalt, den Glykogengehalt, die Dicke des subkutanen Fettes sowie über die Muskelfülle die Abkühlgeschwindigkeit beeinflussen. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Prädisposition für DFD-Fleisch durch den Phänotyp des Tieres erklärt werden kann. Dieser wird durch die genetische Veranlagung der Rasse beeinflusst (Ponnampalam et al., 2016). DFD-Schlachtkörper weisen häufig ein reduziertes Schlachtkörpergewicht sowie einen geringer ausgebildeten Rückenmuskel und eine reduzierte subkutane Fettschicht auf (Puolanne und Aalto, 1981). Die physiologischen Unterschiede zwischen den Tieren deuten darauf hin, dass einige durch den Transport und das Handling keine zusätzliche Belastung erfahren haben, sondern weniger widerstandsfähig gegen körperliche Anstrengung sind oder sich langsamer erholen als andere (Broom, 2014; Holdstock et al., 2014; McGilchrist et al., 2012).

Die Beziehung zwischen der Stressreaktionsfähigkeit und bestimmten Qualitätsmerkmalen von Rindfleisch kann je nach Rasse sehr unterschiedlich sein (Muchenje et al., 2009). Stark bemuskelte Rinder haben eine reduzierte Reaktionsfähigkeit auf Adrenalin im Muskel, was

zu einer geringeren Glykogenolyse während der Stressaussetzung führt und folglich den Gehalt an gespeichertem Muskelglykogen nicht weiter reduziert. Die Selektion von gut bemuskelten Rindern kann demzufolge die Häufigkeit von dunklen, festen und trockenen Schlachtkörpern verringern (Gardner et al., 2014; McGilchrist et al., 2011). Ein weiterer Grund für diese physiologische Variabilität können Unterschiede im Muskelaufbau und den Muskelfasertypen der Tiere sein. (McGilchrist et al., 2012). Doppellender- Rassen wie Weißblaue Belgier sind aufgrund einer reduzierten Aktivität des Muskelwachstumhemmenden Myostatin anfälliger für Stress (Fiems, 2012). Zudem ist das Fleisch nicht nur in Bezug auf den pH-Wert unterschiedlich, sondern auch auf die Fleischfarbe. Der Muskelpigmentgehalt variiert zwischen den Rassetypen, wobei Milchrasen (z. B. Holstein und Brown Swiss) sich durch höhere Myoglobinwerte auszeichnen und somit mehr Eisen in ihren Muskeln vorhanden ist. Das Fleisch ist demnach röter im Vergleich zu denen von Fleischrasen und Doppellender. Die höhere Muskelpigmentkonzentration in Milchrasen ist auf den oxidativen Metabolismus aufgrund der Selektion auf Milchproduktion zurückzuführen (Dunne et al., 2004). Die Farbe und die Textur des Fleisches sind jedoch wenig vererbbar und es ist daher schwierig eine Verbesserung dieser Merkmale durch Selektion schnell zu erreichen (Shackelford et al., 1994). Folglich kann eine gute Muskulatur und steigendes Wachstum in Kombination mit einer adäquaten Fütterung das Auftreten von dunklem, festem und trockenem Fleisch minimieren (McGilchrist et al., 2012).

Die Variabilität des Auftretens von DFD-Fleisch innerhalb der gleichen Rasse, der gleichen Aufzuchtmethoden und Fütterung sowie derselben Transportbedingungen, ist neben der Qualität des Handlings vor der Schlachtung auch durch das individuelle Temperament zu erklären (King et al., 2006; Ponnampalam et al., 2016). Das Temperament eines Tieres kann durch mehrere Methoden beurteilt werden, wie das Verhalten in einer Fanganlage, die Geschwindigkeit beim Verlassen der Fanganlage, das Verhalten im Pferch sowie das Verhalten beim Ver- und Entladen. Aufgeregte Tiere mit viel Temperament sind anfälliger für Stress und haben deswegen auch ein höheres Risiko für die Produktion von DFD-Fleisch (King et al., 2006; Mounier et al., 2006; Scanga et al., 1998; Shackelford et al., 1994; Voisinet et al., 1997; Warren et al., 2010; Wulf et al., 1997). Tiere mit einem ruhigeren Temperament zeigen sich in einer ungewohnten Umgebung gelassener als genetisch nervöse Tiere (Grandin, 2014a). Um in einer neuen Umwelt zurechtzukommen reagieren Tiere durch eine Verhaltensveränderung, die situationsbedingt positiver oder negativer Natur sein können (Njisane und Muchenje, 2017). Diese Verhaltensveränderungen reflektieren außerdem die biochemischen Veränderungen der Tiere. So erzeugen temperamentvollere Stiere eine höhere Konzentration an Kortisol und Adrenalin im Vergleich zu ruhigeren Stiere (Burdick et al., 2010).

Es gibt auch Unterschiede zwischen den Rassen hinsichtlich des Temperaments. In einer Studie wurde die Milchrasse Holstein Friesian mit einer Zweinutzungsrasse bezüglich des Vorkommens von DFD-Fleisch verglichen. Die Schlachtkörper der Rasse Holstein wiesen weniger DFD-Fälle auf, was auf ein ruhigeres Temperament in der Vor-Schlachtungs-Phase zurückzuführen war (Önenç, 2004). In einer weiteren Studie wurde das Auftreten von DFD-Fleisch nicht durch das Temperament erklärt, mit der Annahme dass andere genetische Faktoren und Umweltfaktoren einen höheren Effekt auf den pH-Wert haben (Coombes et al., 2014).

### ***Geschlecht und Schlachtalter***

Die Häufigkeit von Schwarzfleischigkeit wurde auch in Bezug auf den Effekt des Geschlechts und des Alters untersucht. Mehrere Studien, die sich über verschiedene Rassen und unterschiedliches Management am Betrieb erstrecken, ergaben, dass Stiere im Vergleich zu Färsen und Ochsen anfälliger für die Produktion von DFD-Fleisch sind (Dunne et al., 2004; Jeremiah et al., 1991; Mach et al., 2008). Das häufigere Vorkommen von dunklem Fleisch bei Stieren ist vor allem unter belastenden Bedingungen auf das temperamentvolle Verhalten zurückzuführen. Stiere neigen dazu mehr DCB-Fleisch zu produzieren, wenn sie vor dem Schlachten gemischt werden. Das kämpferische Verhalten und das Aufspringen werden ausgeführt, um die soziale Hierarchie wiederherzustellen. Infolgedessen wird das Muskelglykogen erschöpft. Der pH-Wert sinkt so unzureichend ab, was zu und DFD-Fleisch führt (Mcveigh und Tarrant, 1983; Warriss et al., 1984). Das Fleisch von Stieren, die in der Wartezeit in Gruppen gehalten wurden, zeigte sich als weniger zart als das Fleisch von Bullen in Einzelhaltung aufgrund der unzureichenden Absenkung des pH-Werts nach der Schlachtung (Jeleníková et al., 2008).

Soziale Neugruppierungen lösten bei Stieren mehr Schwarzfleischigkeit aus als bei Ochsen. Nach intensiven Rankämpfen brauchten auch Ochsen eine Woche um sich zu erholen, um für eine gute Fleischqualität zu garantieren (Tennessee et al., 1985). DFD tritt aber vergleichsweise häufiger bei Färsen als bei Ochsen auf. Ein möglicher Grund ist die erhöhte Aktivität und das Aufspringen der Färsen während der Brunst (Jeremiah et al., 1991; Scanga et al., 1998; Warren et al., 2010; Wulf et al., 1997). Tiere, die sich im Oestrus befinden, weisen einen Mangel an Glykogen im Rückenmuskel auf. Zusätzlich konnte bei diesen Tieren eine höhere Anzahl an Hämatomen an den Schlachtkörpern festgestellt werden, die durch das Aufspringen während des Brunstverhaltens vor dem Schlachten zurückzuführen sind. Durch die Einzelhaltung während der Wartezeit wird das Brunstverhalten unterdrückt und das Auftreten von DFD-Fleisch reduziert (Kenny und Tarrant, 1988). Eine weitere Studie erwies das Gegenteil, Ochsen hatten einen höheren pH-Wert als Färsen. Dies wurde darauf zurückgeführt, dass Färsen eine kurzfristige Reaktion auf Stress zeigten, aber nicht genug, um eine Glykogenverarmung zu verursachen, während Ochsen auf Stress mit einer anhaltenden statt einer akuten Antwort reagierten (Bass et al., 2010). Der Unterschied zwischen den Geschlechtern, kann also auf einen unterschiedlichen Hormonstatus zurückzuführen sein, der die Stressanfälligkeit und das Dominanzverhalten während der Vor-Schlachtungs-Phase beeinflusst. Daher ist ein vorsichtiger Umgang zur Stressreduktion und Förderung einer höheren Glykogenkonzentration notwendig, um Auftreten von DFD-Fleisch, insbesondere bei Stieren und Färsen, zu minimieren (Ponnampalam et al., 2016).

Der Effekt des Schlachtalters wird häufig durch Faktoren wie Rasseeigenschaften, Wachstumsrate, Fütterungs- und Aufzuchtssystem bestimmt. Jedoch ist allgemein bekannt, dass das Fleisch mit zunehmenden Alter dunkler ist (Dunne et al., 2004; Hughes et al., 2014; Shackelford et al., 1994; Węglarz, 2010). Dieser Effekt beruht auf einem Anstieg des Eisen- und Pigmentgehalts der Muskeln, hauptsächlich Myoglobin. Der Anstieg des Myoglobingehalts erklärt sich durch eine Verschiebung zu einem vermehrten oxidativen Stoffwechsel mit zunehmendem Alter (Boccard et al., 1979). Demzufolge ist die Fleischfarbe von Färsen heller als die von Kühen (Węglarz, 2010). Die Fleischfarbe korreliert stark mit dem pH-Wert des Fleisches (Hughes et al., 2014; Kelava et al., 2008). Ein Vergleich von Kälbern, Jungvieh und Kühen bestätigt, dass die Häufigkeit von DFD-Fleisch mit zunehmendem Alter steigt (Hughes et al., 2014). Auch eine Studie von Kelava et al. (2008) berichtete, dass mit zunehmenden Alter von Fleckvieh, der pH-Wert in Korrelation mit der

Fleischfarbe ansteigt. Der Anstieg des pH-Werts mit dem Alter könnte auch auf den Anstieg der Muskeladrenalinsensitivität zurückzuführen sein, so dass der Glykogenabbau bei älteren Tieren verstärkt abläuft (Hopkins et al., 2007).

Im Gegensatz dazu fand Tarrant (1990) heraus, dass Kälber im Vergleich zu adulten Tieren anfälliger für die Bildung von DFD-Fleisch sein können. Als Grund dafür wurde wenig Erfahrung bezüglich Handling und Transport genannt. Die neue Umgebung, sowie das Absetzen lösen Stress aus. Vor allem gegenüber Transport reagieren Kälber sehr empfindlich.

### 2.3.2. Faktoren in Bezug auf Transport und Sammelstelle

Während des Transportes sind die Tiere wieder einer Reihe potentieller Stressoren ausgesetzt. Ihr Wohlbefinden, ihre Gesundheit und ihre Leistungsfähigkeit können aufgrund der Wetterbedingungen, sozialer Interaktionen, Handhabung, Entzug von Futter und Wasser (Knowles et al., 2014), Vibration und Beschleunigung und damit verbundene Ermüdung, Ver- und Entladen, Verletzungen, Lärm und Umweltschadstoffe beeinträchtigt werden (Mitchell und Kettlewell, 2008). Die Qualität des Transportes kann anhand von Verhaltensbeobachtungen, physiologischen Messungen und der Schlachtkörperqualität bewertet werden (Broom, 2008). Der Transport führt zu Verhaltensveränderungen bei Tieren (Le Neindre et al., 1996). Vor allem zu Beginn des Transportes agieren die meisten Tiere nervös, was unter anderem zu einem erhöhten Ausscheideverhalten führt (Warriss, 1990). Wiederkäuer zeigen zudem auch ein reduziertes Wiederkauverhalten (Santurtun und Phillips, 2015).

Aufgrund des geringeren wirtschaftlichen Wertes von Schlachtrindern im Vergleich zu Zuchttieren, wird diesen beim Transport weniger Beachtung geschenkt (Grandin, 2001). Durch die Zielsetzung der Gesetzgebung können die Stressoren und deren Effekt auf die Tiere verringert und das Wohlbefinden verbessert werden.

#### 2.3.2.1. Gesetzliche Grundlagen Tier-Transport

Laut EU-VO Nr. 1/2005 dürfen nur transportfähige Tiere befördert werden, das heißt gesunde und leicht verletzte Tiere, wenn keine unnötigen Leiden entstehen. Die Personen, die im Umgang mit diesen Tieren sind, müssen geschult und qualifiziert sein. Das Wohlbefinden der Tiere muss aufrechterhalten bleiben und der Transport am Bestimmungsort ohne Verzögerungen erfolgen. Bei Langstreckentransporten müssen die Tiere in angemessenen Zeitabständen mit Wasser und Futter versorgt werden, je nach Tierart und Größe angepasst. Die Tiere müssen ausreichend Platz im Transporter haben entsprechend ihrer Größe bzw. ihres Gewichts (Tabelle 3).

**Tabelle 3** benötigte Fläche je Gewichtseinheit während des Transportes

	Gewicht in kg	Fläche je Tier bzw. Gewichtseinheit
Rind	110	0,40 – 0,70 m <sup>2</sup>
	325	0,95 – 1,30 m <sup>2</sup>
	550	1,30 – 1,60 m <sup>2</sup>

Die Beleuchtung beim Verladen und Entladen muss angemessen sein. Die Rampenneigung für Rinder beträgt maximal 50 % Steigung. Bei Kälbern unter 6 Monaten ist Einstreu vorgeschrieben. Tränken sind bei einem Kurzstreckentransport < 8 Stunden nicht vorgeschrieben, jedoch zu empfehlen.

### **2.3.2.2. Managementbezogene Faktoren**

Die Transportbedingungen, wie die Umgebungstemperatur, die Luftfeuchtigkeit, der Fahrstil, die Besatzdichte und die Position der Rinder zur Fahrtrichtung haben einen Einfluss auf das Verhalten und dementsprechend physiologische Auswirkungen (Kenny und Tarrant, 1987a, 1987b; Van De Water, Verjans und Geers, 2003). Während des Transportes sind die Herzfrequenz, der Kortisolgehalt, die Kreatinkinase, die freien Fettsäuren und der Laktatgehalt höher als im Ruhezustand am Betrieb (Van De Water et al., 2003). Zu Beginn des Transportes ist die Herzfrequenz hoch, wobei diese während des Transportes nach 30-60 Minuten wieder abnimmt. Diese physiologische Veränderung ist auf den emotionalen Stress zurückzuführen der mit der ungewohnten Umwelt zusammenhängt, sowie auf die physiologische Anstrengung während des Verladens sowie auf die Erhaltung des Gleichgewichts während des Transportes (Van De Water et al., 2003). Rinder bevorzugen eine parallele oder perpendikuläre Position zur Fahrtrichtung was wiederum vom Fahrstil und den Straßenbedingungen abhängt (Kenny und Tarrant, 1987a, 1987b). Rinder weisen demnach eine höhere Herzfrequenz auf, wenn sie über eine kurvenreiche Strecke hinweg transportiert werden (Broom, 2014; Swanson, 2001). Sie verändern während der Fahrt selten ihre Position und versuchen das Gleichgewicht zu halten. Bei Langstreckentransporte versuchen sie sich aufgrund der Erschöpfung hinzulegen (Warriss, 1990). Das Vieh ist jedoch oft in seinen Bewegungen eingeschränkt. Dabei spielt die Besatzdichte im Transporter eine wichtige Rolle (Broom, 2014; Schwartzkopf-Genswein und Grandin, 2014). Zuviel oder zu wenig Platz während des Transportes entscheidet unter anderem über die Qualität der Fahrt (Tarrant et al., 1988, 1992). Auf der einen Seite darf die Besatzdichte nicht zu hoch sein, da die Tiere sich nicht richtig zur Fahrtrichtung orientieren können und dies zu erhöhten Kortisol-Werten führen kann. Zum anderen darf die Besatzdichte auch nicht zu niedrig sein weil die Tiere durch die fehlenden umgebenen Tiere das Gleichgewicht nicht so gut halten können (Knowles, 1999; Tarrant, 1990; Knowles et al., 2014). In einer Studie hatte die Besatzdichte jedoch keinen Effekt auf das Auftreten von DFD-Fleisch (Mach et al., 2008). Die Erfahrung der Fahrer und deren Fahrstil steht jedoch im Zusammenhang mit der Häufigkeit von DCB-Schlachtkörpern (Warren et al., 2010). Die Geschwindigkeit beim Fahren, ein plötzliches Abbremsen, die Beschleunigung und lange Fahrten können zur Ermüdung und Erschöpfung der Tiere führen (Adzitey, 2011; Stockman et al., 2013; Tarrant, 1990; Warriss, 1990). Eine angemessene Ausbildung der Fahrer ist somit essentiell für eine reibungslose Durchführung des Verladens und Transportes. Auch die Auswahl adäquater Transportmittel ist ein entscheidender Faktor. Das gleiche gilt für die Konstruktion der Verlade- und Entlade- Einrichtungen (Tarrant, 1990).

#### ***Verladen***

Das Verladen am Betrieb als sehr stressig für Rinder eingestuft (Broom, 2005; Terlouw et al., 2008). Die Art des Verladens hängt von der Qualität des Handlings, der Erfahrung des Handlers und dem Gesundheitszustand des Tieres ab (Burdick et al., 2010). Die Verladebedingungen am Betrieb fordern von den Tieren körperliche Anstrengungen und führen zu psychischem Stress. Das Ver- und Entladen kann schwerwiegende Auswirkungen auf die Tiere haben, welche sich in den Verhaltensreaktionen widerspiegeln. Diese

Verhaltensweisen können individuell stark variieren (Broom, 2014). Vor allem die Art der Einrichtungen am Betrieb entscheidet über den Verlauf des Verladens. Rutschige Bodenflächen, scharfe Ecken oder Metallgitter können zu Verletzungen führen. Diese Hindernisse erschweren somit das Treiben und verzögern zusätzlich den Verladevorgang (Lensink et al., 2001; Mounier et al., 2006; Van De Water et al., 2003). Die sozialen agonistischen Interaktionen zwischen Stieren erschweren ebenfalls den Verladeprozess und das Handling. Aufspringen und Kopfstöße verhindern einen normalen Treibfluss der Gruppe (Mounier et al., 2006; Warriss, 1990). Besonders für Kälber ist der Verladeprozess sehr anstrengend, da sie im Handling noch keine Erfahrung haben (Trunkfield und Broom, 1991; Van De Water et al., 2003). In einer Studie von Lensink et al. (2001) hatten 80 % der Kälber während der ganzen Verlade-Phase eine höhere Herzfrequenz und einen höheren Kortisolwert im Blut im Vergleich zum Ruhezustand. Demnach hat das Verladen einen Effekt auf den Glykogenabbau im Muskel und negative Auswirkungen auf die Fleischqualität (Schaefer et al., 1997). Das Verladen und Entladen kann möglicherweise mehr Stress auslösen als der Transport selbst. Eine erhöhte Kortisol-Konzentration im Blutplasma und eine erhöhte Herzfrequenz konnten zu Beginn des Transportes festgestellt werden, welche aber einen stetigen Rückgang während der Fahrt aufwiesen (Booth-McLean, 2007; Fell und Shutt, 1986). Allerdings ist der Prozess des Verladens und Entladens unumgänglich mit dem Transport verbunden und somit schwierig die jeweiligen Auswirkungen voneinander zu unterscheiden (Schwartzkopf-Genswein und Grandin, 2014).

Folglich wird durch ein angepasstes Handling am Betrieb und durch die effizienten Ladeprozeduren nicht nur das Wohlbefinden verbessert, sondern auch die Produktivität der Tiere gesteigert (Broom, 2008; Grandin und Shivley, 2015).

### ***Umgebungstemperatur***

Die klimatischen Verhältnisse stellen neben dem Betrieb, auch während des Transportes eine Herausforderung für die Rinder dar. Die Tiere werden vor allem im Sommer während des Transportes mit extremen Temperaturen konfrontiert. Das Mikroklima im Transporter ist ein Hauptgrund für ein schlechtes Wohlbefinden (Mitchell und Kettlewell, 2008). Mit einer höheren maximalen Tagestemperatur wurde eine Abnahme des mittleren Glukosewertes nach dem Transport verzeichnet (Young et al., 2004). Aus diesem Grund ist ein rasches Entladen am Schlachthof bei einer hohen Außentemperatur unbedingt notwendig, da die Abteile des stehenden Fahrzeugs schnell überhitzen (Grandin, 2014b). Das gleiche gilt für Zwischenstopps während des Transportes an weiteren Betrieben (Ritter et al., 2006). Das Lüftungsmanagement, wie die Installation von Ventilatoren im Transporter ist wichtig zur Vermeidung von körperlichen Belastungen (Broom, 2008; Mader et al., 2010).

### ***Transportdauer***

Die Transportdauer hat einen Einfluss auf das Wohlbefinden und auf die Fleischqualität (Gallo et al., 2003). Die Transportdauer setzt sich zusammen aus dem Warten nach dem Verladen, der Fahrt selbst, den Zwischenstopps und dem Warten vor dem Entladen (Schwartzkopf-Genswein und Grandin, 2014). Durch den Wasser- und Futtermangel kommt es zu physiologischen Veränderungen wie Dehydratation, Elektrolytungleichgewichten, negativer Energiebilanz, Glykogenmangel im Muskel und Katabolismus von Protein und Fett (Schaefer et al., 2001). Das Auftreten von DFD-Fällen steigt mit steigender Transportdauer (Jones und Tong, 1989; Önenç, 2004). Rinder benötigten fünf Tage, um sich von dem Gewichtverlust nach 15 Stunden Transport zu erholen (Warriss et al., 1984). Masttiere zeigten ein erhöhtes Liegeverhalten nach einer dreistündigen Fahrt, wobei keine weiteren

Verhaltensveränderungen festgestellt werden konnten. Kurzstreckentransporte wurden somit als wenig belastend für die Tiere eingestuft (Booth-McLean et al., 2007). Mit einer steigenden Transportdauer (von 3 bis 16 Stunden) sowie anschließenden längeren Wartezeiten am Schlachthof (von 3 bis 24 Stunden) ist der pH-Wert im Rückenmuskel erhöht (Amtmann et al., 2006; Gallo et al., 2003). Weitere Fleischqualitätsmängel stehen in Verbindung mit dem Transport. Die Schlachtkörper die Hämatome aufweisen, korrelieren mit einem höheren pH-Wert des Fleisches. Bei den selben Tieren war außerdem eine Verringerung des Muskelglykogens festzustellen, aufgrund des Futterentzuges während des Transportes und der Wartezeit (Vimiso und Muchenje, 2013). Nach einem Langstreckentransport > 30 Stunden wird empfohlen, dass die Rinder sich mindestens drei Tage vor der Schlachtung inklusive Futterangebot erholen müssen, um eine gute Fleischqualität zu garantieren (Teke et al., 2014).

### ***Bestimmungsort***

Rinder werden entweder auf direktem Weg vom Betrieb zum Schlachthof transportiert oder mit Zwischenstopp an einer Sammelstelle beispielsweise einem Auktionsmarkt. Besonders in flächenmäßig großen Ländern werden Rinder oft an einer Sammelstelle entladen um sich von dem Transport zu erholen und den Glykogen-Vorrat wieder aufzufüllen (Mounier et al., 2006). Solche Sammelstellen können jedoch auch ein Risikofaktor für die Bildung von DFD-Fleisch sein. Die Gründe dafür sind das mehrfache Handling und Zusammenmischen von fremden Tieren sowie der verlängerte Futterentzug, wenn an der Sammelstelle keine Fütterung erfolgt (Ferguson und Warner, 2008; Ferguson et al., 2001; C. Gallo et al., 2003; Kreikemeier et al., 1998; Warren et al., 2010). Wenn die Tiere mehrere Tage an den Sammelstellen verbringen, werden sie neben der neuen Umgebung, auch mit fremdem Futter konfrontiert (Ponnampalam et al., 2016). In einer Studie hatten Ochsen ein viermal höheres Risiko für einen erhöhten pH-Wert (> 5,8), wenn diese im Vergleich zur sofortigen Anlieferung an den Schlachthof bei einem Viehmarkt oder bei Zwischenhändlern zwischengeladen wurden (Amtmann et al., 2006).

### ***Vermischen von fremden Tieren***

Der soziale Rang beeinflusst die Stressreaktionen der Rinder in der Vor-Schlachtungs-Phase, die sich auf die produktive Leistung auswirken (Miranda-de la Lama et al., 2013)

Wenn Rinder aus verschiedenen sozialen Gruppen stammen und anschließend beim Transport oder in der Wartezeit zusammengemischt werden, führt das zu vermehrtem agonistischen Verhalten (Mcveigh und Tarrant, 1983). Die körperliche Anstrengung aufgrund von Aufspringen bei Stieren und von Kopfstößen führt zur Erschöpfung von Glykogen im Muskel und kann DFD-Fleisch zur Folge haben (Broom, 2014; Jones und Tong, 1989; Kenny und Tarrant, 1987b; Puolanne und Aalto, 1981; Young et al., 2004). Laut einer Studie von Warriss et al. (1984) hatten Holstein- Stiere eine erhöhte Aktivität der Kreatinkinase, einen erhöhten Gehalt an freien Fettsäuren und eine Abnahme an Laktat im Plasma, nachdem die Tiere in sozial instabilen Gruppen über Nacht zusammengemischt wurden. Zusätzlich war das Glykogen im Muskel und in der Leber erschöpft. Zur Vermeidung eines hohen pH-Wertes bei Tieren, die vor dem Schlachten zusammengemischt worden sind, wird eine Erholungszeit mit Futterangebot von mindestens 48 Stunden empfohlen (Warriss et al., 1984). Auch das Zusammenmischen von Ochsen und Färsen in ein gemeinsames Abteil im Transporter führt zu einem häufigeren Auftreten von DFD (Warren et al., 2010). Das Glykogen im Muskel ist aufgrund des Sexualverhaltens der Färsen schneller abgebaut und neigen eher zu DFD-Fleisch (Gruber

et al., 2006; Wulf et al., 1997). Dieses Verhalten kann demnach nicht nur den pH-Wert des Fleisches negativ beeinflussen sondern auch zu Blutergüssen führen und die Fleischqualität beeinträchtigen (Warriss, 1990). Die Besatzdichte im Transporter muss vor allem beim Zusammenmischen von einander unbekanntem Tieren hoch genug sein, damit die Tiere nicht aufspringen können (Terlouw et al., 2008). Bei einer zu hohen Besatzdichte ist der Stress für dominante Tiere geringer als für rangniedere. Sobald der Transporter zum Stehen kommt, kann es zu agonistischem Verhalten kommen, da die Tiere nicht ihr Gleichgewicht halten müssen und sich frei bewegen können (Warriss, 1990).

### **2.3.3. Schlachthof**

Am Schlachthof sind die Tiere wieder neuen herausfordernden Situationen ausgesetzt. Potentielle Stressfaktoren sind das Handling (z.B. Stockeinsatz, Einsatz elektrischer Treibhilfen), die neue Umgebung (einschließlich unbekannter Gerüche) und das Vermischen mit fremden Artgenossen. Außerdem gehören laute Geräusche oder auch das Schreien des Personals zu diesen belastenden Faktoren (Hemsworth et al., 2011; Hultgren et al., 2014).

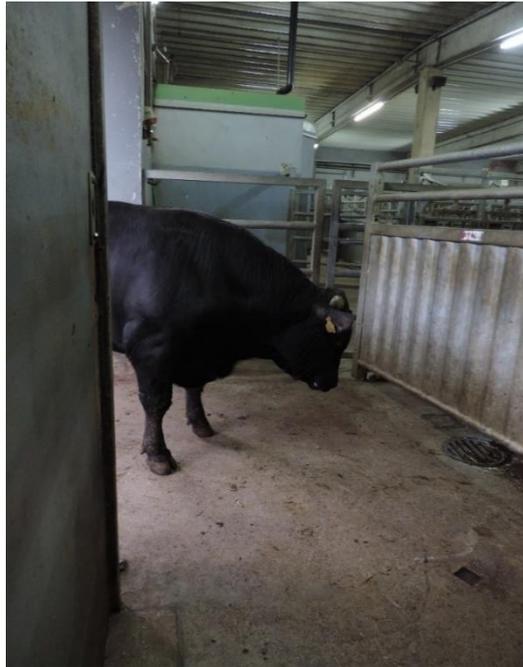
#### **2.3.3.1. Managementbezogene Faktoren**

##### ***Handling und Entladen***

Grandin (2014) definiert einige Kontrollpunkte zur Überwachung des Wohlbefindens am Schlachthof:

- Prozentualer Anteil an Tieren, die während des Handlings oder Betäubens vokalisieren
- Prozentualer Anteil an Tieren, die während des Handling oder Betäubens ausrutschen oder hinfallen
- Prozentualer Anteil an Tieren, die mit einem elektrischen Viehtreibstab getrieben werden

Das Handling durch gut geschultes und fachkompetentes Personal kann den Stress am Schlachthof minimieren (Hemsworth et al., 2011). Angemessene Einrichtungen sind ebenfalls von Vorteil um ein gutes Vorantreiben zu ermöglichen (Bild 3). Aus diesem Grund verläuft das Entladen am Schlachthof oft besser als das Verladen am Heimbetrieb (Knowles, 1999; Mounier et al., 2006; Warriss et al., 1984). Rinder haben ein zweidimensionales Sichtfeld und haben somit Schwierigkeiten bei der räumlichen Wahrnehmung. Gute Lichtverhältnisse, vor allem im Bereich des Entladens sowie beim Eintreten in die Schlachtbox, sind notwendig für ein vereinfachtes Handling. Rinder bevorzugen, sich von dunklen Bereichen in Richtung hell beleuchteter Bereiche fortzubewegen (Grandin, 1980). Das Verhalten vom Vieh kann Aufschluss über die Situation am Schlachthof geben. Beispielsweise wird Vokalisation von Rindern mit aversiven Ereignissen assoziiert wie das Treiben mit einem Elektrostock, Fehlbetäubungen oder Ausrutschen in der Betäubungsbox (Grandin, 2001).



**Bild 3** flüssiger Treibfluss beim Entladen wird durch Schlachthofeinrichtung behindert (Foto: Annick Wolter)

### **Wartezeit**

Rinder, die für die Fleischproduktion bestimmt sind, verbringen gewöhnlich einige Stunden oder eine ganze Nacht am Schlachthof, bevor sie geschlachtet werden. Obwohl dies eine vergleichsweise kurze Zeit ihres Lebens ist, kann sie einen großen Einfluss auf das Wohlergehen der Tiere haben (Hultgren et al., 2014). Die Wartezeit spielt eine Rolle in Bezug auf das Vorkommen von DFD-Fleisch (Pérez-Linares et al., 2015). Durch Vermischen von sich unbekanntem Tiere kann eine Ermüdung der Muskeln entstehen und schließlich zur Erschöpfung von Glykogenreserven führen (Kenny und Tarrant, 1987a). Aus diesem Grund gibt es vorwiegend Einzelboxen am Schlachthof, damit sich das agonistische Verhalten nicht entwickeln kann (Terlouw et al., 2008). Auf der anderen Seite haben Rinder ein reduziertes Risiko für Stress, wenn diese während der Wartezeit in ihrer sozial stabilen Gruppe bleiben (Mounier et al., 2006).

Mit zunehmender Wartezeit am Schlachthof ohne Zufütterung steigt das Risiko für die Entwicklung von DFD-Fleisch (Gallo et al., 2003; Kreikemeier et al., 1998; Ponnampalam et al., 2016). Bei einem Aufenthalt im Schlachthof von über 15 Stunden tritt DFD häufiger auf (Mach et al., 2008). Eine weitere Studie hat gezeigt, dass Rinder die über Nacht am Schlachthof gehalten wurden, eher zu DFD-Fleisch neigen als Rinder, die am gleichen Tag geschlachtet wurden (Warren et al., 2010).

Die Wartezeit bis zum Schlachten ermöglicht den Tieren aber auch sich von den Anstrengungen des Transportes und Entladen zu erholen. Nach 24 – 48 Stunden Wartezeit mit Zufütterung können Rinder wieder den physiologischen und metabolischen Zustand wie vor dem Transport erreichen (Mounier et al., 2006; Warriss et al., 1984). Nach einem Kurzstreckentransport mit anschließender steigender Wartezeit (von 20 Minuten auf 48 Stunden) wurde eine Verringerung des pH-Wertes festgestellt (Mounier et al., 2006). Im Gegensatz dazu zeigte eine weitere Studie, dass mit einer zu kurzen Wartezeit (<5 Stunden)

am Schlachthof das Vorkommen von DFD-Fällen steigt (Önenç, 2004). Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Tiere nicht genug Zeit hatten, sich an die neue Umgebung zu gewöhnen und dass die Bedingungen am Schlachthof tagsüber stressiger waren (del Campo et al., 2010).

### **2.3.3.2. Tierbezogener Faktor**

#### ***Schlachtkörpermerkmale***

Einige Schlachtkörpermerkmale stehen im Zusammenhang mit dem Vorkommen von DFD-Fleisch. Bei leichten Schlachtkörpergewichten ist das Risiko für die Bildung von DFD-Fleisch höher (Holdstock et al., 2014; Jones und Tong, 1989; Mahmood et al., 2016; McGilchrist et al., 2011a; Önenç, 2004). Außerdem führt die Zunahme des Fettgehalts im Schlachtkörper zu einem Rückgang der Häufigkeit von Fleisch mit hohem pH-Wert (Kreikemeier et al., 1998; Mach et al., 2008). DFD-Fleisch wird auch mit der Schlachtkörperklassifizierung EUROP in Verbindung gebracht, wobei die Klasse „E“ die beste und die Klasse „P“ die schlechteste Bemuskelung darstellt. Der Anteil mit einem pH-Wert > 5,8 war am höchsten bei schlecht ausgebildeten Schlachtkörpern (Mach et al., 2008).

## **2.4. Identifikation von Tieren mit erhöhtem DFD-Risiko**

Der Transport von Tieren vor der Schlachtung ist unweigerlich mit Stress verbunden. Daher ist die Entwicklung von Strategien zur Verringerung der Auswirkungen von Stress auf den Glykogenabbau und die Fleischqualität unerlässlich (Bass et al., 2010). Eine plötzliche Umgebungsänderung ist ein enormer Stressor für ein Tier. Um die Reaktion eines Tieres genau zu beurteilen, wird eine Kombination von Verhaltens- und physiologischen Messungen am besten Aufschluss über Tierleiden geben (Grandin, 1997). Deshalb sind eine gründliche Kenntnis des Hintergrunds und des Managements von Tieren im Schlachthof sowie eine genaue Beobachtung ihres Verhaltens notwendig, um DFD-anfällige Tiere zu identifizieren. Ponnampalam et al. (2016) empfiehlt einige Verfahren zur frühzeitigen Erkennung von Tieren mit erhöhtem DFD-Risiko. Auf den ersten Blick kann grob der allgemeine Gesundheitsstatus des Tieres erfasst werden. Kranke Tiere sind zudem oft schwach und somit anfälliger gegenüber Umweltveränderungen. Deren Gewicht und Speicherung von Muskelglykogen sind möglicherweise unzureichend und ergeben eine verminderte Schlachtkörperqualität. Ältere Tiere, besonders Milchkühe, tendieren auch öfter zu einer schwächeren Körperkondition und sind gefährdeter für Verletzungen während des Transportes. Weibliche Tiere die sich im Östrus befinden, können aggressiver sein und müssen dementsprechend mit besonderer Sorgfalt gehandhabt werden. Auffällig gestresste und beim Handling nervöse Tiere können ein höheres Risiko für einen erhöhten pH-Wert aufweisen. Infolgedessen kann eine Verhaltensbeobachtung während des Verladens am Betrieb und Entladens am Schlachthof, Aufschluss über dessen Verlauf geben. Bei einem schwierigeren Verladen neigen die Tiere eher zur Bildung von DFD-Fleisch. Wenn Rinder mit einer energiearmen Ration gefüttert worden sind oder kürzlich von der Weide gekommen sind, haben sie eine höhere Tendenz für DFD. Sind extreme Wetterbedingungen oder Temperaturschwankungen während der Tage vor der Schlachtung zu verzeichnen, kann ein erhöhter pH-Wert im Schlachtkörper darauf zurückzuführen sein.

Durch diese Beobachtungen können Tiere, die zu einer möglichen Bildung von DFD-Fleisch tendieren, erkannt und vorzeitig Maßnahmen dagegen unternommen werden (Ponnampalam et al., 2016).

### 3. Tiere, Material und Methoden

Zur Beantwortung der Fragestellung wurden im März, April und Mai 2017 Daten auf luxemburgischen Betrieben erhoben.

#### 3.1. Fakten über die luxemburgische Landwirtschaft

Luxemburg hat eine Gesamtfläche von 2586 km<sup>2</sup> und davon werden 52,6% landwirtschaftlich genutzt. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 8,0 °C. Die durchschnittliche Größe je Betrieb aller landwirtschaftlichen Betriebe beträgt 65 ha. Die am häufigsten vorkommenden Fleischrassen sind Limousin und Charolais, als Milchviehrasse wird vor allem Holstein eingesetzt. Zu den wichtigsten Haltungssystemen zählen Tiefstreu- und Tretmistsysteme, Vollspaltenboden und Liegeboxenlaufstall.

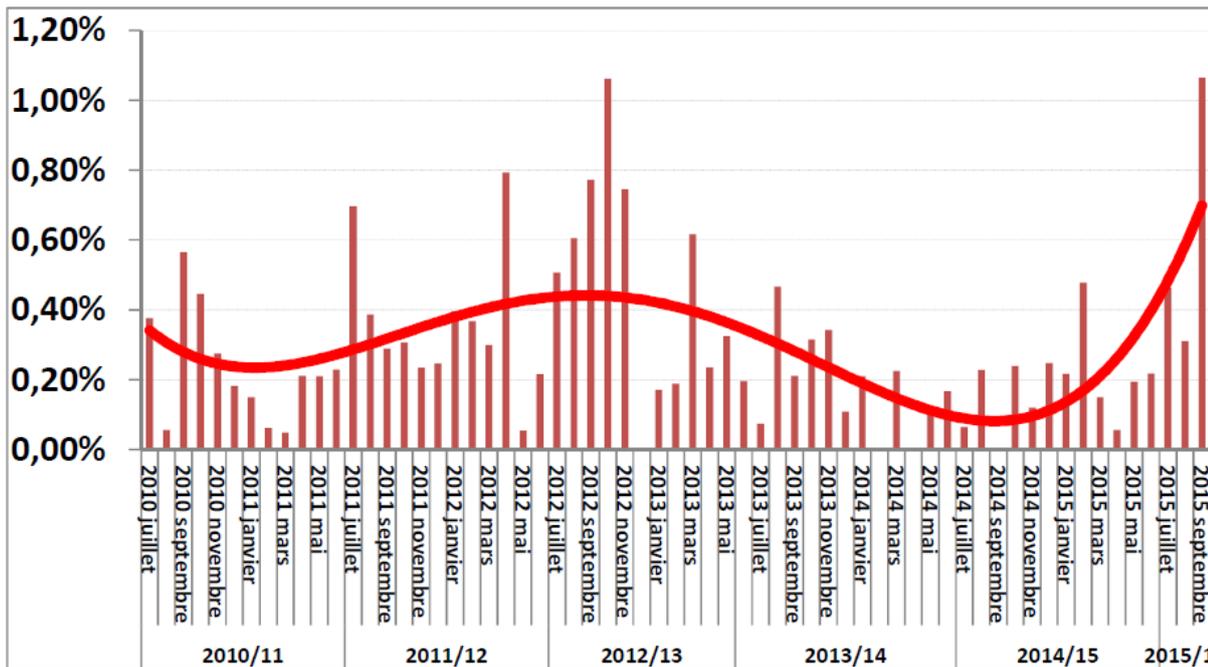
**Tabelle 4** Anzahl landwirtschaftliche Betriebe im Jahr 2015 nach deren betriebswirtschaftlicher Ausrichtung (Service d'économie rurale, 2016).

	Anzahl Betriebe
Spezialisierte Futterbaubetriebe	1315
davon Spezialisierte Milchviehbetriebe	515
davon Spezialisierte Rinderbetriebe - Aufzucht und Mast	374
davon Spez. Rinder - Milcherzeugungs-, Aufzucht- und Mastverbundbetriebe	166

#### Schlachtviehversicherung in Luxemburg (CAAB)

Alle Schlachttiere, die in luxemburgischen Schlachthöfen geschlachtet werden, sind obligatorisch bezüglich Genussuntauglichkeit versichert. Von der Versicherung wird zwischen Befunden, welche auf den Transport zurückzuführen sind, und anderen Befunden wie Fleischschäden (z.B. Finnenbefall) unterschieden. Die Schäden werden von den Schlachthöfen gemeldet und die Entschädigung wird an den Antragssteller ausgezahlt.

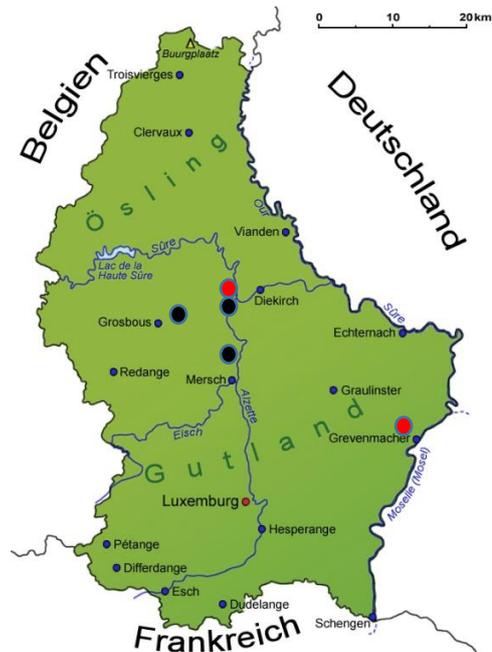
Seit dem Sommer 2015 haben sich die Fälle von DFD-Fleisch gehäuft. Ein Grund hierfür war die Absenkung des pH-Grenzwertes von 6,2 auf 6,0 für die Einstufung als DFD-Fleisch. Anfangs wurde noch versucht, die leichten Qualitätsmängel (pH-Wert zwischen 6,0 und 6,2) zu vermarkten, dies wurde jedoch durch das Anfallen von größeren Mengen dieses Fleisches immer schwieriger. Das Vorkommen der Fälle war periodisch, so waren im Sommer 2015 gleich 21 Rinder (Abbildung 1) in einem Monat betroffen, wobei so die CAAB mit hohen Ausgaben konfrontiert waren. Der pH-Grenzwert ist allerdings kein Maß für Genussuntauglichkeit des Fleisches, sondern zeigt nur eine Wertminderung der Fleischqualität an, die die technologische Verwertbarkeit einschränkt. 2016 fasste die Schlachtviehversicherung daher den Beschluss, das Auftreten von DFD-Fleisch nicht mehr zu entschädigen, so dass die finanziellen Einbußen von den Landwirten getragen werden müssen (Caisse d'Assurance des Animaux de Boucherie, 2016).



**Abbildung 1** Die Anzahl der DFD-Schlachtkörper in Prozent der monatlichen Schlachtungen in der Periode 1.Juli 2010 bis September 2015 (Caisse d'Assurance des Animaux de Boucherie, 2016)

### 3.2. Auswahl der Viehhandelsunternehmen Betriebe und Tiere

Vor der Durchführung der Erhebung musste die Zustimmung der Schlachthöfe eingeholt werden. In Luxemburg gibt es zwei Schlachthöfe und beide nahmen an der Forschung teil. Für meine Arbeit wurden drei Viehhändler als Transportunternehmen ausgewählt, welche die größte Stückzahl an Tieren an die Schlachthöfe liefern. In einigen Fällen kamen auch die Landwirte als Transporteure in Frage. Ein Teil der ausgewählten landwirtschaftlichen Betriebe, welche laut Auskunft der Viehhändler wöchentlich stückmäßig am meisten Vieh an den Schlachthof liefern, wurde vor Beginn der Erhebungen die Zustimmung zur Teilnahme eingeholt. Der Großteil der Betriebe wurde allerdings zufällig ausgewählt, da meistens erst am Tag zuvor beschlossen wurde, welche Tiere von welchen Betrieben geschlachtet werden. Innerhalb des dreimonatigen Erhebungszeitraums wurden an jedem Werktag die drei Viehhändler abwechselnd im 3-Wochen-Rhythmus zu den Betrieben begleitet. Entweder die Tiere wurden vom Viehhändler als Transportunternehmen zum Schlachthof oder von den Landwirten selbst transportiert. Jeder Viehhändler ist im Besitz von zwei Transportern und insgesamt haben sie sechs Fahrer eingestellt. Die Auswahl der Rinder zum Schlachten wurde von den Viehhändlern oder Bauern bestimmt. Für diese Erhebung wurden alle Schlachtrinder unabhängig von Geschlecht, Alter und Rasse berücksichtigt.



**Bild 4** topographische Karte von Luxemburg mit Lage der Schlachthöfe (rot) und Viehhändler bzw. Sammelstellen (schwarz)

### 3.3. Erhebungen

Die Tiere wurden vom Betrieb bis zum Schlachthof von der Autorin dieser Arbeit begleitet. Insgesamt wurden 531 Tiere von 121 Betrieben erfasst. Im Februar wurde eine Testerhebung in drei Betrieben durchgeführt, um insbesondere die Machbarkeit der Verhaltensbeobachtungen und die Vollständigkeit der Erhebungsbögen zu überprüfen. Alle endgültigen zur Durchführung verwendeten Erhebungsbögen befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

#### 3.3.1. Betrieb

Am Betrieb wurde zusammen mit dem Landwirt vor oder nach der Verladung der Tiere, ein Fragebogen ausgefüllt über die Art des Futters sowie die letzte Futterumstellung. Bedeutend war auch die Frage, ob und wann die betreffenden Tiere zuletzt mit fremden Tieren zusammengemischt wurden. Der Landwirt sollte zusätzlich das Temperament (ruhig – normal – nervös) der zur Schlachtung vorgesehenen Tiere einschätzen. Auch sonstige Auffälligkeiten, wie zum Beispiel ob betreffende weibliche Tiere brünstig sind, wurden aufgezeichnet.

Anschließend wurden die Rasse, die Tierkategorie, die Haltungsform sowie die Anzahl der Tiere in der Box, die Größe der Box und die Anzahl der Fressplätze von einer Person (die Verfasserin dieser Arbeit) erfasst. Zusätzlich wurde notiert, ob die Tiere zum Zeitpunkt der Verladung noch Futter zur Verfügung hatten. Außerdem musste vor dem Verladen festgestellt werden, aus welcher Box das zu beobachtete Tier stammte. Die Ohrmarkennummern wurden notiert damit jedes Tier nachher individuell unterschieden werden konnte. Der Zustand des einzelnen Tieres hinsichtlich Lahmheit, Ernährungsstatus und sichtbare Verletzungen wurden ebenfalls vermerkt. Bei der Verladung wurde eine kontinuierliche Verhaltensbeobachtung durchgeführt. Die Beobachterin wählte eine Position

im Stall, die eine gute Sicht auf die Tiere ermöglichte. Darüber hinaus wurde die Box nicht durch die Beobachterin betreten und auch nicht eingegriffen. Die Treibwege von der Box in den Transporter waren sehr unterschiedlich je nach Einrichtung der Betriebe. Die Tiere wurden meistens über den Futtergang getrieben. Um den Auftrieb vor der Laderampe zu erleichtern, wurde vor dem Verladen eine Verengung durch Gitter errichtet.

Es wurden die Dauer des Verladens in Minuten sowie dabei auftretende Ereignisse erhoben. Der Verladevorgang begann mit Betreten der Box durch den Fahrer oder Landwirt und endete mit dem Verschließen der Abteiltüren im Transporter. Während des Verladevorgangs wurden alle in Tabelle 5 aufgelisteten und definierten Ereignisse dokumentiert. Zusätzlich wurde erhoben, wie häufig der Landwirt oder der Fahrer das Tier an einem beliebigen Körperteil mit einem Stock berührte. Beim Verladen wurden keine elektronischen Geräte zum Treiben eingesetzt.

**Tabelle 5** Beschreibung der Verhaltensweisen der Tiere während des Verladens und Entladens (Hultgren et al., 2014; María et al., 2004; Welfare Quality, 2009)

<b>Verhalten</b>	<b>Beschreibung der Verhaltensweise</b>
<b>Vokalisation</b> <b>Starr stehen</b>	Jede Lautäußerung Während das Tier getrieben wird und keine Hindernisse vorhanden sind, weigert es sich für mindestens 4 Sekunden sich zu bewegen. Macht das Tier einen Schritt und stoppt wieder, beginnt ein neues Ereignis (nur wenn aktiv versucht wird zu treiben)
<b>Koten/Harnen</b>	Kot-bzw. Harnabsatz
<b>Ausrutschen</b>	Wenn das Tier das Gleichgewicht verliert und entweder mit den Klauen oder Beinen mit dem Boden in Berührung ist, aber nicht mit anderen Körperteilen
<b>Sich umdrehen</b>	Tier ändert Gehrichtung um mindestens 90 Grad (Drehen des Kopfes ist nicht ausreichend)
<b>Rückwärtsgehen</b>	Tier (freiwillig oder durch „Handler“) rückwärtsgeht. (Rückwärtsgehen durch Drücken anderer oder um auszubalancieren wird nicht als Versuch gezählt)

Nach dem Verladen wurde das Temperament der jeweiligen Tiere subjektiv durch die Beobachterin auf einer Skala von sehr ruhig (1) bis sehr nervös (10) eingeschätzt. Des Weiteren wurde die Umgebungstemperatur an jedem Tag auf jedem Betrieb erfasst.

### 3.3.2. Transport

Die Transporter waren nicht eingestreut, außerdem waren keine Tränken vorhanden beziehungsweise außer Betrieb, da es sich hier um Kurzstreckentransporte handelte. Die Lastwagen hatten verstellbare Unterteilungen und somit konnte die Besatzdichte in den einzelnen Abteilen nicht erhoben werden. Es wurde festgehalten, welche Tiere sich in welchen, durch die verstellbaren Türen definierten Abteilen, befinden. Somit konnte ermittelt werden ob einander bekannte oder fremde Tiere zusammenstehen. Als „fremd“ galten auch jene Tiere, die von demselben Betrieb, aber aus unterschiedlichen Boxen stammen. Die Anzahl der Zwischenstopps zwischen den Betrieben und die Dauer des gesamten

Transportes wurden für jedes einzelne Tier erfasst. Als Dauer des Transportes wurde die Zeitspanne zwischen Abfahrt am Betrieb und Ankunft am Bestimmungsort definiert. Ebenso wie am Betrieb wurde die durchschnittliche Umgebungstemperatur für den gesamten Transportweg notiert.

### **3.3.3. Sammelstelle**

Einige Tiere wurden aus organisatorischen Gründen an den Sammelstellen der Viehhändler entladen und anschließend für den Transport zum Schlachthof wieder verladen. Die Verhaltensbeobachtung beim Entladen und Verladen entsprach der für das Verladen am Betrieb (siehe 3.3.1. Betrieb/Tabelle 5). Es wurde zusätzlich festgehalten welche Tiere in welche Boxen gruppiert wurden, ebenso das Futter- und Wasserangebot. Die Aufenthaltsdauer errechnete sich aus der Ankunfts- und Abfahrtszeit der jeweiligen Tiere. Zum Zeitpunkt der Abfahrt wurde erneut der Zustand bzw. das Temperament des Tieres beurteilt.

### **3.3.4. Schlachthof**

Der Wartestall beider Schlachthöfe besteht aus nicht eingestreute Einzelboxen. Für Kälber gibt es jedoch eine Gruppenbox und am Schlachthof 1 zusätzlich zwei weitere Gruppenboxen, wo adulte Tiere desselben Betriebes zusammengemischt werden dürfen. Die Größe der Einzelboxen ist so konzipiert, dass die Tiere in der Lage sind zu liegen, jedoch ist es ihnen nicht möglich sich umzudrehen. Jedes Tier verfügt über Wasser, Futter wird jedoch nicht angeboten. Die Schlachtung der Rinder erfolgt in beiden Schlachtbetrieben mittels Bolzenschussbetäubung in der Betäubungsbox und anschließendes Entbluten.

Beim Entladen am Schlachthof wurde die gleiche Verhaltensbeobachtung wie beim Verladen am Betrieb durchgeführt. Zudem wurde erfasst, ob und wie oft die Tiere mit einem Elektrostock getrieben wurden. Darüber hinaus wurde das Verhalten „Verweigerung der Box“ erhoben, wenn sich der Kopf des Tieres zwar in der Einzelbox befand, es sich aber weigerte innerhalb von 4 Sekunden die Box komplett zu betreten. Macht das Tier einen Schritt und stoppt wieder, beginnt ein neues Ereignis (nur wenn aktiv versucht wird zu treiben). Die Dauer des Entladens wurde definiert durch das Öffnen der Abteiltür des Transporters bis zum Verriegeln der Einzelbox. Die Treibwege vom Transporter bis zur Einzelbox sind jeweils zwischen 5 und 20 Meter. Die Wartezeit in Stunden beschreibt den Zeitraum des einzelnen Tieres von der Ankunft am Schlachthof bis zur Schlachtung.

24 Stunden nach dem Schlachten (Schlachthof 2) beziehungsweise nach 48 Stunden (Schlachthof 1) wurde der pH im Rückenmuskel (*Longissimus dorsi*) bei jedem einzelnen Tierkörper mit einem pH-Meter (*pH-Star Matthäus* für Schlachthof 1 und *pH-testo 206* für Schlachthof 2) gemessen. Die pH-Wert-Messung, die EUROP-Schlachtkörperklassifizierung und die Klassifizierung der Fettklasse wurden vom Personal der Schlachthöfe durchgeführt und die entsprechenden Daten für die Auswertung in dieser Arbeit zur Verfügung gestellt.

### 3.4. Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Die Daten wurden zunächst mit MS EXCEL aufbereitet.

Für die weitere Verwendung der Daten, die das Verladen und Entladen der Tiere beschreiben, wurde eine Kategorisierung durchgeführt. Der Verlauf des Verladens und Entladens wird durch die Dauer des Verladens, die Anzahl der Hilfsmiteleinsetze und die Anzahl der Verhaltensweisen der Tiere beschrieben und jeweils für jedes Tier in Kategorien aufgeteilt (Tabelle 6). Die Einteilung in Kategorien basiert auf der Verteilung der erhobenen Daten in Anlehnung an die Studien von María et al. (2004) und Hultgren et al. (2014). Ist die Summe der Kategorien  $\leq 3$ , wird der Verlade- oder Entlade- Verlauf als „gut“ bezeichnet und  $> 3$  als „mittel-mäßig“. Für die weitere statistische Auswertung wurde diese Summe der Kategorien herangezogen.

**Tabelle 6** Kategorienbildung und Gewichtung innerhalb der Kategorien zur Aufstellung eines Gesamtscores für die Einschätzung des Verlade-bzw. des Entlade- Verlaufs

Kategorie	
<b>Dauer</b>	1-5 Minuten = 1 (kurz)
	6-10 Minuten = 2 (mittel)
	>11 Minuten = 3 (lang)
<b>Hilfsmiteleinsetzung (n/Tier)</b>	0-5 = 1 (wenig)
	6-10 = 2 (mittel)
	>11 = 3 (viel)
<b>Verhaltensweisen (n/Tier)</b>	0-3 = 1 (wenig)
	4-10 = 2 (mittel)
	>11 = 3 (viel)
<b>Gesamtscore</b>	Jeweils Summe aus Punktezahl für die Kategorien
<b>Verlade – Verlauf</b>	Dauer + Hilfsmittel + Verhaltensweisen
<b>Entlade – Verlauf</b>	$\leq 3$ : gut; $> 3$ : mittel

Anschließend folgte die deskriptive und analytische Auswertung der Daten mit dem Software-Paket SAS 9.4. Als abhängige Variable wurden einerseits der pH-Wert als kontinuierliches Merkmal verwendet und andererseits eine Kategorisierung als binäres Merkmal mit pH-Wert  $< 5,7 = 0$  und pH-Wert  $\geq 5,7 = 1$  vorgenommen. Für den ersten Schritt der statistischen Analyse wurde jeder Faktor univariabel vorgetestet, ob eine Beziehung zu den oben genannten Merkmalen besteht. Dazu wurden für den kontinuierlichen pH-Wert in der Vorselektion die kontinuierlichen Variablen mit dem Korrelations-test und die kategorischen Variablen mit der Varianzanalyse (ANOVA) verwendet. Für die Kategorisierung des pH-Werts als binäres Merkmal wurden in der Vorselektion die kontinuierlichen Variablen mit der Varianzanalyse (ANOVA) und die kategorischen Variablen mit dem Chi-Quadrat-Test vorgetestet.

Alle potentiellen Risikofaktoren, die das Kriterium  $P < 0,2$  erfüllten, wurden in der weiteren Auswertung mit multivariablen statistischen Modellen berücksichtigt. Für den kontinuierlichen pH-Wert wurde ein gemischtes Modell herangezogen mit der Prozedur MIXED. Für das binäre Merkmal (Überschreitung pH-Wert von 5,7) wurde ein generalisiertes lineares gemischtes Modell verwendet (Prozedur GLIMMIX). Sowohl feste als auch zufällige Effekte wurden berücksichtigt. Die festen Effekte umfassen die

vorselektierten Risikofaktoren. Zu den zufälligen Effekten zählte das Schlachtdatum genestet im Schlachtbetrieb und Transportunternehmen sowie zusätzlich das Transportunternehmen (gekreuzter zufälliger Effekt). Das endgültige Modell wurde durch das schrittweise Herausnehmen von nicht signifikanten Variablen ( $p > 0.05$ ) erreicht. Die Normalverteilung der Residuen wurde im finalen Modell graphisch überprüft.

## 4. Ergebnisse

Der erste Teil der Ergebnisse gibt Aufschluss über die Vorgeschichte der selektierten Tiere am Betrieb, während des Transportes und am Schlachthof. Außerdem wird die Verhaltensbeobachtung während des Verladens und Entladens näher betrachtet. Im zweiten Teil der Ergebnisse werden die Faktoren, die einen Einfluss auf den pH-Wert des Fleisches haben, veranschaulicht.

### 4.1. Deskriptive Statistik

#### 4.1.1. Darstellung der Ergebnisse der beobachteten Schlachtrinder

Von April bis Juni 2017 wurden Daten von 531 Tieren, die aus insgesamt 121 Betriebe stammten, erhoben. Die Spannweite beträgt 20 Tiere pro Tag und 21 Tiere pro Betrieb.

126 der 531 Tiere hatten einen pH-Wert  $\geq 5,7$  (23,7%) und in drei Fällen lag der pH-Wert über 6; das Fleisch dieser Tiere wurde daher als DFD-Fleisch klassifiziert. Mehr als die Hälfte der Tiere gehörten der Rasse Limousin (64,0%) an. Knapp über die Hälfte der Tiere mit 54,4% waren weiblich. Eingestreute Boxen waren in mehr als 60% der erhobenen Betriebe die Haltungsform.

Während des Transportes befanden sich mehr als die Hälfte der Tiere mit fremden Tieren in einem Abteil des Lastwagens. Ein Drittel der beobachteten Rinder wurde an einer Sammelstelle entladen und anschließend wieder für den Transport zum Schlachthof verladen. 75,5% der Tiere wurden im Schlachthof 2 und 24,5% im Schlachthof 1 geschlachtet. Weitere deskriptive Ergebnisse zu den kategorischen Variablen sind in Tabelle 7 angeführt

**Tabelle 7** Anzahl Beobachtungen und relative Häufigkeit für die kategorischen Variablen

	Anzahl Tiere <i>n</i>	Häufigkeit %
<b>Rasse</b>	<b>531</b>	
Limousin	340	64,0
Holstein	95	17,9
Sonstige Fleischrassen <sup>1</sup>	96	18,1
<b>Tierkategorie</b>	<b>531</b>	
Stiere	219	41,2
Kühe	185	34,8
Färsen	104	19,6

<sup>1</sup> Charolais, Fleckvieh, Blonde d'Aquitaine, Aubrac, Weißblaue-Belgier, Highlander, Piemontaise, Kreuzungs-Fleischrasse

Kälber <sup>2</sup>	6	1,1
Ochsen	17	3,2
<b>behornt</b>	<b>531</b>	
Ja	224	42,2
Nein	307	57,8
<b>Lahmheit</b>	<b>531</b>	
nicht lahm	507	95,5
mittel bis schwer lahm	24	4,5
<b>EUROP</b>	<b>522</b>	
U	164	31,2
R	271	51,5
O	87	16,7
<b>Fett</b>	<b>522</b>	
2	292	55,9
3	230	44,1
<b>pH-Wert im <i>Longissimus dorsi</i></b>	<b>531</b>	
pH < 5,7	405	76,3
pH ≥ 5,7	126	23,7
pH ≥ 5,8	13	2,5
pH ≥ 6	3	0,6
<b>Haltungsform</b>	<b>525</b>	
Einstreu	321	61,1
ohne Einstreu	161	30,7
Sonstige <sup>3</sup>	43	8,2
<b>Futter</b>	<b>525</b>	
mit Krafftutter	463	88,2
ohne Krafftutter	62	11,8
<b>Einschätzung des Temperaments durch den Landwirt</b>	<b>525</b>	
Ruhig		
Normal	143	27,2
Nervös	318	60,6
	64	12,2
<b>Transportunternehmen<sup>4</sup></b>	<b>531</b>	
1	154	29,0
2	123	23,2
3	169	31,8
4	85	16,0

<sup>2</sup> Kälber und Ochsen haben einen Anteil von nur 4,3 % der Gesamtbeobachtungen und blieben für die weitere Auswertung unberücksichtigt

<sup>3</sup> Anbindehaltung und Weide

<sup>4</sup> 1-3 sind die jeweiligen Viehhändler und 4 ist der Landwirt selbst

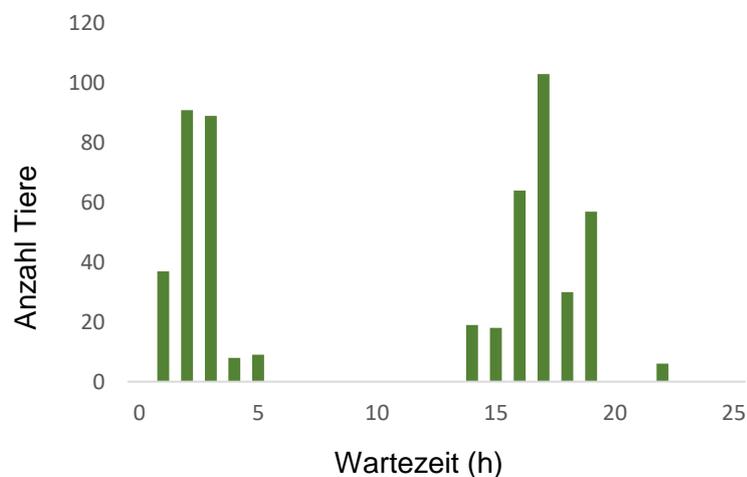
<b>Fremde Tiere im Abteil während des Transportes</b>	<b>525</b>	
Ja	293	55,8
Nein	232	44,2
<b>Bestimmungsort</b>	<b>531</b>	
Schlachthof	361	67,9
Sammelstelle	170	32,0
<b>Schlachtmonat</b>	<b>531</b>	
April	157	29,6
Mai	169	31,8
Juni	205	38,6
<b>Schlachthof</b>	<b>531</b>	
1	130	24,5
2	401	75,5

Die Ergebnisse bezüglich der Verteilung der kontinuierlichen Variablen sind in Tabelle 8 aufgelistet.

**Tabelle 8** Mittelwert, Standardabweichung (SD), Minimum und Maximum der kontinuierlichen Variablen

	<b>N</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Tier</b>					
Alter (Jahre)	530	3,6	2,82	<1	17
<b>Betrieb</b>					
Betriebsgröße (Anzahl Tiere)	522	341	321	7	1800
Letzte Neugruppierung (in Tagen)	524	-7,2	18,9	-120	0
Besatzdichte (m <sup>2</sup> /Tier)	480	10,5	8,1	2,1	60
<b>Transport</b>					
Dauer (min)	531	108,2	84,9	10	375
Umgebungstemperatur am Schlachttag (C°)	531	13,5	8,3	-1	35
Aufenthaltsdauer an der Sammelstelle (h)	167	4,4	6,2	0	24
Zwischenstopps	531	1,3	1,7	0	7
<b>Schlachthof</b>					
Wartezeit (h)	531	10,52	7,5	1	22
pH	531	5,58	0,1	5,4	6,1

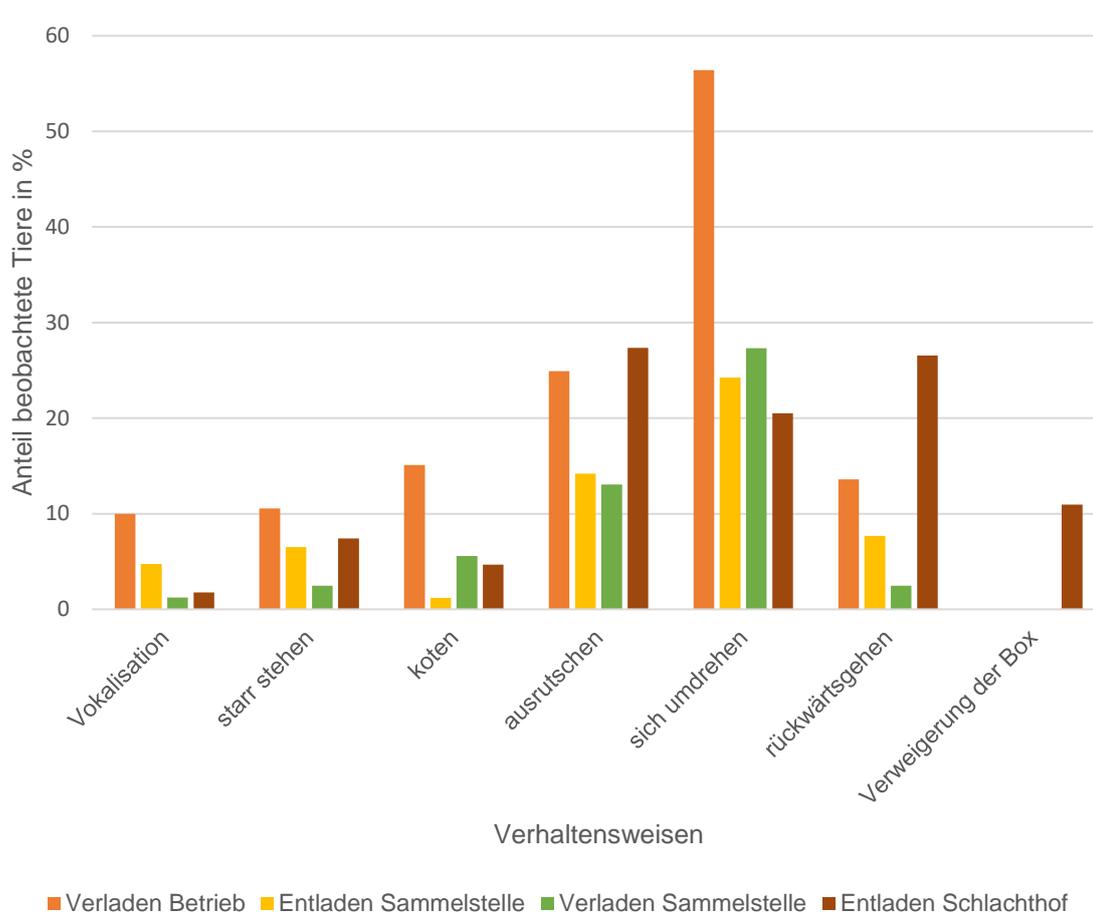
Für die Betriebsgröße wurde die Anzahl an Tieren betrachtet, hier bestand ein Mittel von 341 Tieren pro Betrieb. Die durchschnittliche Größe der Betriebe in Luxemburg, gemessen an der Anzahl Tiere, beträgt 195 Rinder. Die mittlere Betriebsgröße fällt in dieser Studie vergleichsweise hoch aus, da in der Untersuchung einige Aufzucht- und Mastbetriebe berücksichtigt wurden, die regelmäßig Schlachttiere abliefern und folglich viele Rinder besitzen. Eine letzte Neugruppierung der Tiere erfolgte im Durchschnitt vor 7 Tagen. Bezüglich der Umgebungstemperatur während des Transportes lag es eine große Spannweite mit einem Minimum von -1°C und einem Maximum von 35°C vor. Die Tiere verbrachten im Durchschnitt 4,4 Stunden an einer Sammelstelle. Der mittlere pH-Wert aller beobachteten Schlachtkörper betrug 5,58. Die Wartezeit der Tiere am Schlachthof betrug im Mittel etwa 10 Stunden, wobei hier eine ungleichmäßige Verteilung bestand (Abbildung 2). Entweder wurden die Tiere am Tag der Anlieferung innerhalb von weniger als 5 Stunden geschlachtet oder erst am nächsten Tag (ab Stunde 14).



**Abbildung 2** Wartezeit aller Tiere am Schlachthof in Stunden

#### 4.1.2. Verhaltensbeobachtung der Rinder beim Verladen und Entladen

Die Verhaltensbeobachtung der Rinder wurde am Betrieb, an der Sammelstelle und am Schlachthof durchgeführt. Beim Verladen am Betrieb zeigten die Tiere mehr Verhaltensweisen als beim Verladen an der Sammelstelle (SA). Beim Entladen am Schlachthof zeigten die Tiere ebenfalls mehr Verhaltensweisen als beim Entladen an der Sammelstelle. Am Betrieb drehten sich 56% der Tiere mindestens einmal um, während beim Verladen an der Sammelstelle dies nur bei etwa einem Viertel der Tiere zu verzeichnen war. An der Sammelstelle rutschten die Tiere außerdem um die Hälfte weniger aus als beim Verladen am Betrieb. Knapp mehr als 10 % der Tiere verweigerten am Schlachthof das Betreten der Einzelbox (Abbildung 3).



**Abbildung 3** Relative Auftretenshäufigkeit der verschiedenen stressanzeigenden Verhaltensweisen, ausgedrückt als Anteil Tiere, die das jeweilige Verhalten zeigten (n=531)

Der Verlauf des Verladens und Entladens wird durch die Dauer des Verladens, die Anzahl der Hilfsmiteleinsetze und die Anzahl der Verhaltensweisen der Tiere beschrieben. Im Durchschnitt dauerte das Verladen am Betrieb knapp 4-5 Minuten. Das Verladen an der Sammelstelle dauerte hingegen nur die Hälfte davon. Dasselbe Verhältnis bestand zwischen der Dauer beim Entladen an der Sammelstelle und beim Entladen am Schlachthof. Beim Entladen an der Sammelstelle lag ein Maximum von 27-mal für die Nutzung von Hilfsmitteln vor. Dies ist darauf zurückzuführen, dass manche Tiere an der Sammelstelle zuerst durch eine Waage getrieben wurden. Auch beim Entladen am Schlachthof wurden maximal 35-mal pro Tier Hilfsmittel eingesetzt, was im Zusammenhang mit den Einzelboxen steht, in die die Tiere hineingetrieben wurden (Tabelle 9 und 10). Beim Entladen am Schlachthof wurde das Elektrogerät zum Treiben insgesamt von allen Beobachtungen 13-mal angewendet.

**Table 9** Dauer, Hilfsmiteileinsatz und Auftreten von stressanzeigenden Verhaltensweisen beim Verladen am Betrieb und an der Sammelstelle: Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum

	Verlade-Verlauf Betrieb (n=531)				Verlade-Verlauf Sammelstelle (n=161)			
	Ø	SD	Min	Max	Ø	SD	Min	Max
Dauer des Verladens (min)	4,8	5,1	1	30	2,2	1,8	1	9
Häufigkeit Hilfsmiteileinsatz (n/Tier)	2,2	4,3	0	30	0,9	1,4	0	8
Verhaltensweisen (n/Tier)								
Vokalisation	0,30	1,30	0	15	0,01	0,11	0	1
Starr stehen	0,17	0,69	0	8	0,02	0,15	0	1
Koten	0,16	0,41	0	2	0,05	0,23	0	1
Ausrutschen	0,37	0,78	0	6	0,16	0,50	0	4
Sich umdrehen	1,36	1,94	0	13	0,47	1,03	0	5
Rückwärtsgehen	0,17	0,56	0	8	0,02	0,16	0	1

**Table 10** Dauer, Hilfsmiteileinsatz und Auftreten von stressanzeigenden Verhaltensweisen beim Entladen an der Sammelstelle und am Schlachthof: Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum

	Entlade- Verlauf Sammelstelle (n=169)				Entlade -Verlauf Schlachthof (n=512)			
	Ø	SD	Min	Max	Ø	SD	Min	Max
Dauer des Verladens (min)			1	27	3,1	2,2	1	25
Häufigkeit Hilfsmiteileinsatz (n/Tier)	0,7	2,0	0	15	2,0	3,5	0	35
Verhaltensweisen (n/Tier)								
Vokalisation	0,08	0,49	0	5	0,02	0,24	0	4
Starr stehen	0,08	0,38	0	4	0,10	0,39	0	3
Koten	0,01	0,10	0	1	0,05	0,24	0	3
Ausrutschen	0,20	0,56	0	3	0,35	0,67	0	5
Sich umdrehen	0,26	0,50	0	3	0,27	0,63	0	5
Rückwärtsgehen Verweigerung der Bos	0,11	0,50	0	4	0,38 0,16	0,77 0,57	0	5 6

Der Verlauf des Verladens und Entladens am Betrieb, an der Sammelstelle und am Schlachthof ging gemäß qualitativer Einstufung in Kap. 3.4. / Tabelle 6 in die statistische Auswertung ein. Knapp mehr als die Hälfte des Verladens am Betrieb wurde als „gut“, der Rest als „mittel“ eingestuft. Bei 78% der Tiere wurde das Entladen am Schlachthof als „gut“ bewertet. Das Entladen und Verladen der Tier an der Sammelstelle wurde größtenteils als „gut“ beurteilt (Tabelle 11).

**Tabelle 11** Beurteilung des Verladens und Entladens

	Bewertung	Häufigkeit %
Verlade-Verlauf am Betrieb (n=530)	Gut	57
	Mittel	43
Entlade-Verlauf an der Sammelstelle (n=169)	Gut	91
	Mittel	9
Verlade-Verlauf an der Sammelstelle (n=161)	Gut	90
	Mittel	10
Entlade-Verlauf am Schlachthof (n=512)	Gut	78
	Mittel	22

## 4.2. Einflussfaktoren auf pH-Wert als kontinuierliches Merkmal

### 4.2.1. Vorselektion

Die Ergebnisse der Vorselektion für das Merkmal des kontinuierlichen pH-Wertes sind in Tabelle 12 zu finden.

**Tabelle 12** Ergebnisse der univariablen Analyse für den Zusammenhang zwischen kontinuierlichen und kategorischen Variablen mit dem pH-Wert (als kontinuierliches Merkmal); in orange hervorgehoben sind die Faktoren die in die multivariable Modellierung eingingen ( $p < 0,20$ )

Einflussfaktor	P- Wert	Einflussfaktor	P- Wert
Alter (Jahre)	0.04	Tierkategorie	0.06
Letzte Neugruppierung (in Tagen)	0.82	Rasse	< 0.001
Besatzdichte (m <sup>2</sup> /Tier)	0.03	Haltungssystem	0.23
Tier-Fressplatz-Verhältnis	0.05	EUROP	<0.001
Umgebungstemperatur C°	0.001	Fettklasse	0.01
Transportdauer (min)	0.25	Lahmheit	0.47
Wartezeit (h)	0.06	Futtermittel	0.19
Anzahl Zwischenstopps	0.65	Letzte Fütterung	0.25
Betriebsgröße (Anzahl Tiere)	0.004	Bestimmungsort	0.29
Subjektive Einschätzung Temperament	0.47	Transportunternehmen	0.001
Aufenthaltsdauer an der Sammelstelle (h) <sup>5</sup>	0.03	Schlachthof	< 0.001
		Fremde Tiere in Abteil beim Transport	0.89
		Schlachtmonat	0.03
		Verlade-Betrieb-Verlauf	0.48
		Entlade-Sammelstelle-Verlauf <sup>5</sup>	0.03
		Verlade-Sammelstelle-Verlauf <sup>5</sup>	0.13
		Entlade-Schlachthof-Verlauf	0.35
		Temperament Einschätzung Landwirt	0.09
		behornt	0.004

<sup>5</sup> Die Faktoren Aufenthaltsdauer, Ent- und Verlade-Verlauf an der der Sammelstelle gehen wegen der geringen Anzahl an Tieren (n=170) nicht ins Endmodell mit ein

Zu den fixen Effekten, die in die multivariable Modellierung eingingen, zählen das Alter, die Besatzdichte, das Tier-Fressplatz-Verhältnis, die Umgebungstemperatur, die Wartezeit, die Betriebsgröße, die Tierkategorie, die Rasse, die EUROP-Klassifizierung, die Fettklasse, die Futterration, der Schlachtmonat, die Behornung und der Schlachthof.

#### **4.2.2. Multivariablen Modell**

Das endgültige gemischte Modell wurde durch das schrittweise Herausnehmen von nicht signifikanten Variablen erreicht bei  $\alpha=0,05$ . Das finale Modell umfasste die Tierkategorie ( $p=0,001$ ), die Rasse ( $p=0,005$ ), die Klassifizierung EUROP ( $p=0,03$ ), den Schlachthof ( $p<0,001$ ), das Alter ( $p=0,01$ ), die Besatzdichte am Betrieb ( $p=0,05$ ) und die Umgebungstemperatur ( $p=0,001$ ). Die Effektgrößen (Schätzwerte) werden in Tabelle 13 dargestellt. Am Schlachthof 1 geschlachtete Tiere wiesen einen höheren pH-Wert als am Schlachthof 2 auf. Es zeigte sich, dass der pH-Wert von Stieren um 0,04 höher war im Vergleich zu den weiblichen Tieren. Es lagen auch signifikante Unterschiede zwischen den Rassen hinsichtlich des pH-Wertes vor. Limousin und andere Fleischrassen hatten einen geringeren pH-Wert als die Rasse Holstein. Die Schlachtkörperklassifizierung EUROP hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den pH-Wert des Fleisches. Der pH-Wert stieg mit schlechterer Klassifizierung der Schlachtkörperausprägung. Außerdem stieg der pH-Wert mit steigendem Alter des Tiers. Auch für die Besatzdichte sowie die Umgebungstemperatur ergab sich eine positive Beziehung

**Tabelle 13** Schätzwerte für die im Modell verbliebenden Einflussfaktoren auf den pH-Wert (kontinuierlich)

Effekt	Ausprägung	Schätzwert	Standard- fehler	DF	t-Wert	Pr >  t	Untere	Obere
<b>Intercept</b>		5.4644	0.02023	0	270.13	.	.	.
<b>Tierkategorie</b>	<b>Stier</b>	0.04412	0.01288	402	3.43	0.0007	0.01880	0.06944
	<b>Kuh</b>	0.000344	0.01339	402	0.03	0.9795	-0.02598	0.02666
	<b>Färse</b>	0	.	.	.	.	.	.
<b>Rasse</b>	<b>Limousin</b>	-0.01368	0.009934	402	-1.38	0.1692	-0.03321	0.005847
	<b>Holstein</b>	0.04629	0.02040	402	2.27	0.0238	0.006182	0.08641
	<b>Sonstige Fleischrassen</b>	0	.	.	.	.	.	.
<b>EUROP</b>	<b>O</b>	0.04708	0.02137	402	2.20	0.0282	0.005066	0.08909
	<b>R</b>	0.02519	0.01052	402	2.39	0.0171	0.004505	0.04588
	<b>U</b>	0	.	.	.	.	.	.
<b>Schlachthof</b>	<b>1</b>	0.07597	0.01375	402	5.52	<.0001	0.04892	0.1030
	<b>2</b>	0	.	.	.	.	.	.
<b>Alter (Jahre)</b>		0.004588	0.001793	402	2.56	0.0109	0.001064	0.008113
<b>Besatzdichte m<sup>2</sup>/Tier</b>		0.000986	0.000501	402	1.97	0.0495	2.105E-6	0.001971
<b>Umgebungs- Temperatur C°</b>		0.002759	0.000764	402	3.61	0.0003	0.001258	0.004260

## 4.3. Einflussfaktoren auf pH-Wert als binäres Merkmal (Grenzwert pH =5,7)

### 4.3.1. Vorselektion

Die Ergebnisse der Vorselektion für das binäre Merkmal mit dem Grenzwert pH=5,7 sind in Tabelle 14 zu finden.

**Tabelle 14** Ergebnisse der univariablen Analyse für den Zusammenhang zwischen kontinuierlichen und

Einflussfaktor	P- Wert	Einflussfaktor	P- Wert
Alter (Jahre)	0.12	Tierkategorie	0.12
Letzte Neugruppierung (in Tagen)	0.25	Rasse	<0.001
Besatzdichte (m <sup>2</sup> /Tier)	0.29	Haltung	0.04
Tier-Fressplatz-Verhältnis	0.11	EUROP	<0.001
Umgebungstemperatur C°	0.006	Fettklasse	0.02
Transportdauer (min)	0.21	Lahmheit	0.52
Wartezeit (h)	0.06	Futtermittel	0.38
Anzahl Zwischenstopps	0.33	Letzte Fütterung	0.41
Betriebsgröße (Anzahl Tiere)	0.03	Bestimmungsort	0.58
Subjektive Einschätzung Temperament	0.84	Transportunternehmen	0.002
Aufenthaltsdauer an der Sammelstelle (h) <sup>6</sup>	0.001	Schlachthof	<0.001
		Fremde Tiere in Abteil beim Transport	0.58
		Schlachtmonat	0.02
		Verlade-Betrieb-Verlauf	0.20
		Entlade-Sammelstelle-Verlauf	0.36
		Verlade-Sammelstelle-Verlauf	0.73
		Entlade-Schlachthof-Verlauf	0.12
		Temperament	0.37
		Einschätzung Landwirt	0.37
		behornt	0.01

kategorischen Variablen mit dem pH-Wert (als binäres Merkmal); in orange hervorgehoben sind die Faktoren die in die multivariable Modellierung eingingen ( $p < 0,20$ )

<sup>6</sup> Der Faktor der Aufenthaltsdauer geht wegen der geringen Anzahl an Tieren (n=170) nicht ins Endmodell mit ein

Zu den fixen Effekten, die in die multivariable Modellierung eingingen, zählen das Alter, das Tier-Fressplatz-Verhältnis, die Umgebungstemperatur, die Wartezeit, die Betriebsgröße, die Tierkategorie, die Rasse, die Haltungsform, die Schlachtkörperklassifizierung EUROP, die Fettklasse, der Schlachtmonat, der Verlade-Verlauf am Betrieb, der Entlade-Verlauf am Schlachthof, die Behornung sowie der Schlachthof.

#### 4.3.2. Multivariables Modell

Für eine binäre Zielvariable also  $\text{pH} < 5,7$  oder  $\text{pH} \geq 5,7$  wurde die Prozedur GLIMMIX, ein generalisiertes linear gemischtes Modell verwendet. Auch in diesem Modell werden die vorselektierten Faktoren nacheinander eliminiert, die keine Signifikanz aufweisen bei  $\alpha=0,05$ . In dem endgültigen Modell sind die festen Effekte die Rasse ( $p=0,02$ ), die Klassifizierung EUROP ( $p=0,01$ ) und die Umgebungstemperatur ( $p=0,001$ ) signifikant. Für die Rasse Holstein lag ein höheres Risiko vor, Kategorie  $\text{pH} \geq 5,7$  aufzuweisen gegenüber der Rasse Limousin oder sonstige Fleischrassen. Da der Schätzer für die Umgebungstemperatur positiv ist, bedeutet das, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der  $\text{pH} \geq 5,7$  liegt, mit zunehmender Temperatur zunimmt. Die Schätzer für die Schlachtkörperklassifizierung EUROP zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der  $\text{pH} \geq 5,7$  liegt, mit einer schlechteren Klassifizierung U<R<O steigt (Tabelle 15).

**Tabelle 15** Schätzwerte (log odds) für die im Modell verbleibenden Einflussfaktoren auf den pH-Wert (binäres Merkmal)

Effekt	Ausprägung	Schätzwert	Standardfehler	DF	t-Wert	Pr >  t	Untere	Obere
Intercept		-3.4048	0.5624	0	-6.05	.	.	.
Rasse	Limousin	-0.2018	0.3015	449	-0.67	0.5038	-0.0332	0.3908
	Holstein	1.1814	0.5034	449	2.35	0.0194	0.0062	2.1708
	Sonstige Fleischrassen	0	.	.	.	.	.	.
EUROP	O	1.6381	0.5743	449	2.85	0.0045	0.0051	2.7668
	R	0.8246	0.3446	449	2.39	0.0171	0.0045	1.5019
	U	0	.	.	.	.	.	.
Umg. Temp. C°		0.0763	0.02261	449	3.37	0.0008	0.0013	0.1207

## **5. Diskussion und Verbesserungsmaßnahmen**

### **5.1. Methodische Aspekte**

Ursprünglich sollten in dieser Arbeit die Einflussfaktoren für das Auftreten von DFD-Fleisch identifiziert werden. Aufgrund der geringen Anzahl an Tieren mit einem pH-Wert über 6, wurde als Schwellenwert für einen kritischen pH-Bereich ein pH von 5,7 für die weitere Auswertung hinzugezogen. Ein pH-Wert von 5,7 gilt als Schwellenwert für Fleischqualitätsabweichungen und kann möglicherweise als Risikobereich für die Bildung von DFD-Fleisch angesehen werden (McGilchrist et al., 2012; Ponnampalam et al., 2016; Pulford et al., 2009; Warner et al., 2014; Young et al., 2004).

Die Tiere wurden vom Betrieb bis zum Schlachthof begleitet. Während des Transportes konnte das Verhalten der einzelnen Tiere jedoch nicht beobachtet werden. Das gleiche gilt für die Wartezeit am Schlachthof. Eventuelle Ereignisse, die bei den Tieren Stress auslösen könnten, wurden am Schlachthof bis zum Zeitpunkt der Schlachtung nicht erhoben. Aus organisatorischen Zeitgründen wurde auch keine Verhaltensbeobachtung durchgeführt, als die Tiere in die Schlachtbox getrieben wurden. Obwohl dieser Vorgang häufig mit Stress verbunden ist (Grandin, 2014b), tritt dieser in dieser Phase nur kurzfristig auf, so dass kein Abfall des Glykogenspiegels im Muskel aufgrund dieser kurzen Zeitspanne zu erwarten ist (Knowles et al., 2014).

Für zukünftige Forschungen mit dem Ziel der Erkennung von Stress vor dem Schlachten, wäre die Installation von Kameras für eine genaue Verhaltensbeobachtung sinnvoll. Dazu sollte angemerkt werden, dass sich im Schlachthof 2 eine Kamera befindet, die aber nur auf die Stelle des Entladens ausgerichtet ist.

### **5.2. DFD-Fälle in der untersuchten Stichprobe**

Von den 531 beobachteten Tieren wiesen 13 Tiere einen erhöhten pH-Wert ( $> 5,8$ ) auf und hatten damit ein höheres Risiko für die Bildung von DFD-Fleisch. Folglich wurden drei Schlachtkörper als DFD-Fleisch eingestuft. In diesen drei Fällen lag der pH-Wert jeweils über 6 und es handelte sich um eine Kuh, ein Kalb und einen Maststier. Der Stier und das Kalb zeigten kein abnormes Verhalten und ließen sich gut verladen. Beide befanden sich in einem guten Gesundheitszustand. Der über 2 Jahre alte Stier der Rasse Holstein wurde als „O“ nach EUROP mit geringem Fettanteil klassifiziert. Diese Kombination der Faktoren können dazu beigetragen haben, dass der Schlachtkörper als DFD eingestuft wurde (Mach et al., 2008; Puolanne und Aalto, 1981). Das Holstein-Kalb wurde einzeln verladen, mit anderen Tieren vermischt und knapp 4 Stunden transportiert. Kälber reagieren empfindlicher auf den Transportstress als adulte Tiere. Dies hängt möglicherweise mit der Tatsache zusammen, dass Kälber neuartigen und belastenden Ereignissen wie Absetzen oder Vermischung mit unbekanntem Rindern ausgesetzt sind (Grandin, 2001; Tarrant, 1990). Die betroffene Kuh gehörte der Rasse Limousin an und war über 10 Jahre alt. Sie befand sich in einer sehr schlechten Körperkondition, lahmt schwer aufgrund von Dermatitis digitalis und deshalb erwies sich der Verladeprozess als sehr mühevoll. Der chronische Stress durch die Schmerzen, denen das Tier ausgesetzt war, ist hier die wahrscheinliche Ursache für die Entstehung von DFD-Fleisch (Warriss, 2010).

### **5.3. Interpretation der ermittelten Einflussfaktoren**

In erster Linie werden im Folgenden die Faktoren aus dem binären Modell diskutiert, weil die Einstufung in unauffällige Schlachtkörper und solche mit möglichen Fleischqualitätsabweichungen für die Praxis relevanter erscheint. Zusätzlich werden auch die Faktoren aus dem kontinuierlichen Modell berücksichtigt, sofern sie abweichen. In beiden finalen Modellen konnten die Rasse, die Schlachtkörperklassifizierung und die Umgebungstemperatur als Einflussfaktoren identifiziert werden.

#### **5.3.1. Tierbezogene Indikatoren**

##### **Rasse, Alter, Geschlecht und Schlachtkörperklassifizierung**

Die Faktoren Rasse, Alter, Genre sowie Schlachtkörperklassifizierung EUROP verblieben im endgültigen Modell für den pH-Wert des Fleisches.

Der Effekt der Rasse korrelierte mit dem der Schlachtkörperklassifizierung EUROP. Dies deutet darauf hin, dass der Einfluss der Rasse auf die Körperkondition zurückzuführen ist und weniger durch Unterschiede im Temperament zu erklären ist (Önenç, 2004). Der Effekt der Körperkondition wurde bereits in früheren Studien nachgewiesen (Gardner et al., 2014; Mach et al., 2008; McGilchrist et al., 2012; McGilchrist et al., 2011a; Puolanne und Aalto, 1981). Stark bemuskelte Rinder haben eine reduzierte Reaktionsfähigkeit auf Adrenalin im Muskel, was zu einer geringeren Glykogenolyse während der Stressaussetzung führt und folglich das gespeicherte Muskleglykogen weniger schnell verbraucht wird als bei gering bemuskelten Rindern. Die Selektion von gut bemuskelten Rindern kann demzufolge die Häufigkeit von dunklen, festen und trockenen Schlachtkörpern verringern. In dieser Studie wies die Milchrasse Holstein gegenüber der Rasse Limousin und anderen Fleischrassen ein höheres Risiko auf, einem kritischen pH-Bereich zu erreichen. Die physiologischen Unterschiede zwischen den Tieren deuten darauf hin, dass einige durch den Transport und das Handling keine zusätzliche Belastung erfahren haben, sondern weniger widerstandsfähig gegen körperliche Anstrengung sind oder sich langsamer erholen als andere (Broom, 2014; Holdstock et al., 2014; McGilchrist et al., 2012).

Die Rinder unterschieden sich ebenfalls im pH-Wert abhängig vom Geschlecht. Laut einigen Studien sind Stiere im Vergleich zu Färsen anfälliger für DFD-Fleisch (Dunne et al., 2004; Jeremiah et al., 1991; Mach et al., 2008). Obwohl in dieser Studie die Stiere nicht als DFD-Fleisch klassifiziert wurden, zeigten sie trotzdem erhöhte pH-Werte, die für eine Qualitätsbeeinträchtigung sprechen könnten. Diese Ergebnisse können vor allem durch stressige Bedingungen in Kombination mit dem temperamentvollen Verhalten von Stieren erklärt werden. Vor allem wenn Stiere vor dem Schlachten zusammengemischt werden, neigen sie zur Bildung von Schwarzfleischigkeit. Durch ihr kämpferisches Verhalten wie Kopfstöße und Aufspringen wird das Muskelglykogen schneller aufgebraucht und der pH-Wert könnte folglich nicht weit genug absinken (Mcveigh und

Tarrant, 1983; Warriss et al., 1984). Diese sozialen agonistischen Interaktionen zwischen Stieren erschweren ebenfalls den Verlade Prozess und das Handling.



**Bild 5** Auseinandersetzung zwischen zwei Stieren beim Verladen; hier dauerte der dadurch verzögerte Verladeprozess 12 Minuten (Foto: Annick Wolter)

Auch das Schlachalter nahm Einfluss auf den pH-Wert des Fleisches. Mit zunehmendem Alter findet nicht genug Säuerung im Muskel statt und der pH-Wert bleibt hoch. In einer Studie von Hughes et al. (2014) wurde DFD-Fleisch häufiger bei älteren Tieren festgestellt. Der Anstieg des pH-Werts mit dem Alter könnte auf den Anstieg der Muskeladrenalin sensitivität zurückzuführen sein, so dass der Glykogenabbau bei älteren Tieren verstärkt abläuft (Hopkins et al., 2007). Außerdem korreliert der Effekt des Schlachalters mit dem der Schlachtkörperklassifizierung. Folglich kann der Effekt des Alters auch auf schlechtere Körperkondition Tiere zurückzuführen sein.

## **5.3.2. Managementbezogene Indikatoren**

### **5.3.2.1. Schlachthof**

Die beiden Schlachthöfe, die an der Studie teilgenommen haben, unterschieden sich bezüglich der pH-Werte des Fleisches. Am Schlachthof 1 wurden 130 Tiere geschlachtet und am Schlachthof 2 waren es 401 Tiere. Schlachthof 1 führte die pH-Wert-Messungen nach 48 Stunden durch, Schlachthof 2 dagegen bereits nach 24 Stunden. Der pH-Wert stabilisiert sich nach 24 Stunden postmortem, kann jedoch noch leicht weiter absinken (Apple, et al., 2005; Warriss, 1990). Da die Ergebnisse aber zeigen, dass Schlachthof 1 höhere pH-Werte aufwies als Schlachthof 2, ist eher unwahrscheinlich, dass die Unterschiede im pH-Wert auf den unterschiedlichen Zeitpunkt der pH-Wert-Messung zurückzuführen sind. Ein möglicher Grund für die Abweichungen könnten die pH-Wert-Messgeräte sein, da keine Kenntnisse über deren Kalibrierung vorliegen.

An beiden Schlachthöfen hatten die Tiere die Möglichkeit, sich in den Einzelboxen hinzulegen. Jedoch wurden die Rinder während der Wartezeit am Schlachthof nicht beobachtet. Aufgrund dessen könnten eventuelle negative Ereignisse wie Lärm eine weitere Erklärung sein. Aus organisatorischen Gründen könnten die Tiere in andere Boxen umgestellt worden sein und hier ein unangemessenes Handling stattgefunden haben. Die

Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass weitere Untersuchungen der Faktoren am Schlachthof nötig sind, um die aufgetretenen Differenzen zu erklären.

#### **5.3.2.2. Umgebungstemperatur**

Die Umgebungstemperatur betrug durchschnittlich 13,5 C° (Minimum -1 C° und Maximum 35 C°). Die Wahrscheinlichkeit, dass der pH-Wert über 5,7 liegt und folglich zu DFD-Fleisch tendieren kann, stieg mit zunehmender Temperatur. Bei extremen Temperaturen im Sommer ist das Risiko für DFD-Fleisch höher (Jones und Tong, 1989; Kreikemeier et al., 1998; Mach et al., 2008; Scanga et al., 1998; Węglarz, 2010). In früheren Untersuchungen wurde bereits festgestellt, dass die Temperaturschwankungen im Frühling und Herbst häufiger DFD-Fleisch hervorbringen (Jones und Tong, 1989; Scanga et al., 1998; Warren et al., 2010). Rinder verbrauchen zusätzliches Muskel- und Leberglykogen um sich an die warmen Tage und kalten Nächte anzupassen. Somit können die klimatischen Bedingungen bereits einen Einfluss am Betrieb auf die Fleischqualität haben. Diese weiteren Studien zeigen eine Übereinstimmung mit den vorliegenden Ergebnissen. Der physikalische Stress an heißen Tagen führt zu einem reduzierte Fressverhalten und folglich steht weniger Muskel- und Leberglykogen zur Verfügung, um die Homöostase aufrechtzuerhalten (Scanga et al., 1998). Vor allem während des Transportes ist das Wohlbefinden an heißen Tagen beeinträchtigt (Mitchell und Kettlewell, 2008).

### **5.4. Interpretation der Verhaltensbeobachtung**

Das Verhalten der Rinder ergab keinen Einfluss auf den pH-Wert im Fleisch. Jedoch machte die Verhaltensbeobachtungen beim Verladen und Entladen einen großen Teil der vorliegenden Untersuchung aus. Aus diesem Grund wird anschließend das Verhalten der beobachteten Rinder näher deskriptiv erläutert.

An den Betrieben wurde knapp mehr als die Hälfte der Verladeprozesse als „gut“ bewertet, der Rest als „mittel“ eingestuft. Das Verladen dauerte am Betrieb im Durchschnitt doppelt so lange als an der Sammelstelle. Die Tiere zeigten weniger stressanzeigende Verhaltensweisen beim Verladen an der Sammelstelle als am Betrieb. Ein möglicher Grund wäre, dass die Tiere ihre gewohnte Umgebung nicht verlassen wollten. Die Verweigerung der Rinder aus ihrer Box auszutreten und die Trennung von der Herde erschweren den Verlade-Prozess. Dies würde auch erklären, warum sich mehr als die Hälfte der Tiere mindestens einmal umdrehten. An den Sammelstellen befinden sich außerdem bessere Verlade- und Entladeeinrichtungen, die den Treibfluss begünstigen. Das Entladen der Tiere am Schlachthof verlief im Mittel besser als das Verladen am Betrieb. Anhand von höheren Kortisol-, Kreatinkinase-, und Laktatwerten konnten auch María et al. (2004) zeigen, dass das Verladen für Rinder stressiger ist als das Entladen. Das Entladen am Schlachthof dauerte wiederum im Durchschnitt länger als im Vergleich zum Entladen an der Sammelstelle. Die Sammelstellen bestehen größtenteils aus Gruppenboxen, die das Hineintreiben der Rinder erleichterten. Am Schlachthof gibt es nur Einzelboxen für adulte Tiere. Durch die Verweigerung des Betretens der Box resultierte somit eine erhöhte Dauer des gesamten Entladens und die Anzahl an Stockeinsätzen stieg dadurch an. In Übereinstimmung mit einer Studie von Hultgren et al. (2014) wurde die Verhaltensweise „Rückwärtsgehen“ beim Entladen am Schlachthof am häufigsten gezeigt. Vokalisationen wurden bei 4,7 % der Tiere am Schlachthof registriert, wobei

Grandin (2001) eine Häufigkeit von < 3 % als akzeptabel bezeichnet und > 20% als ernstes Problem ansieht.

## **5.5. Verbesserungsmaßnahmen der identifizierten Einflussfaktoren**

### **5.5.1. Rasse und EUROP**

Da die Rasse einen Zusammenhang mit der Schlachtkörperklassifizierung aufwies, sind Lösungsansätze in Richtung einer verbesserten Körperkondition der Tiere erforderlich. Dabei sollte vor der Schlachtung die Glykogenkonzentration im Muskel hoch genug sein, um dem unumgänglichen Stress des Handlings und Transportes entgegen wirken zu können. Stark bemuskelte Rinder wie Limousin neigen weniger zur Bildung von DFD-Fleisch, dessen ungeachtet muss der Gehalt an gespeichertem Muskelglykogen auch hier angemessen sein für die anschließende Fleischreifung. Da die Milchrasse Holstein weniger stark bemuskelt ist im Vergleich zu Fleischrassen und die Tiere, vor allem die Milchkühe, häufig nicht vollständig ausgemästet sind, kann das Muskelglykogen schneller erschöpft sein. Eine adäquate Fütterung vor dem Schlachten kann das Risiko für die Entstehung von DFD-Fleisch reduzieren (Gardner et al., 2014; Immonen et al., 2000; Knee et al., 2007; Schaefer et al., 2006, 2001).

In der vorliegenden Studie waren der Faktor der Futterumstellung sowie der der Futtermittelration über alle Betriebe hinweg verhältnismäßig einheitlich. Aufgrund der vermutlich geringen Variation zwischen den Betrieben konnten keine aussagekräftigen Erkenntnisse der Futterumstellung und Ration im Zusammenhang mit dem pH-Wert festgestellt werden. Frühere Studien zeigten jedoch, dass eine Futterumstellung vor der Schlachtung negative sowie auch positive Effekte haben kann. Die Tiere benötigen einen gewissen Zeitraum zur Anpassung einer neuen Ration. Die Supplementierung mit energiereichem Futter vor der Schlachtung kann jedoch einen hohen Muskelglykogengehalt sicherstellen und anschließend vor Stress schützen und das Vorkommen von hohen pH-Werten reduzieren (Gardner et al., 2014; Schaefer et al., 2001, 2006). Eine angemessene Zeit ist also notwendig damit die Rinder sich an das neue Futter gewöhnen können (Apaoblaza und Gallo, 2014). Das Bereitstellen von einer energiereichen Ration zwei Wochen vor Transport und Schlachtung scheint eine angemessene Maßnahme gegen die Häufigkeit von DFD-Fleisch zu sein (Immonen et al., 2000). Jedoch erlaubt auch das Futterangebot unmittelbar vor der Schlachtung, reich an Energie, an Aminosäuren und Elektrolyten, den Rindern sich von den körperlichen Anstrengungen des Transports, Handlings und der Wartezeit zu erholen. Diese bestimmten Zusätze in der Vor-Schlachtungs-Phase, können die Dehydrierung des Gewebes verringern oder die Rehydratation verbessern und zusätzlich den Abbau von Muskelprotein, Glykogen und Lipid reduzieren. Eine solche verbesserte Homöostase bei der Auseinandersetzung mit Stressoren verbessert auch das Wohlbefinden der Tiere. Die Supplementierung von glucogenen Aminosäuren scheint den Gewebekatabolismus zu reduzieren und so das Muskelglykogen zu erhalten. Folglich kann die Bereitstellung von Nährstoffzusätzen unmittelbar vor dem Transport oder Wartezeit zu höheren Schlachtkörpererträgen führen und Qualitätsmängeln entgegenwirken (Andersen et al., 2005; Gardner et al., 2014; Schaefer et al., 2006, 2001).

Außerdem kann das Angebot von Elektrolyten im Wasser während der Wartezeit ein wirksames Mittel zur Stressreduzierung bei transportierten Rindern sein (Schaefer et al., 1997). Darüber hinaus ist Chrom ein essentieller Mineralstoff, der im Glukosestoffwechsel eine Rolle spielt. Dieses Mineral kann die Glykogenablagerung erhöhen, indem es die Effizienz von Insulin erhöht. Es besteht die Annahme, dass die Supplementierung von Chrom zur Erhöhung der Glykogenreserven beitragen könnte und demnach die Glykogen-Erschöpfung vor der Schlachtung reduzieren könnte (Hanson et al., 2000). Durch die Jahreszeiten kann der Muskelglykogenspiegel ebenfalls variieren, was auf die Qualität des Futters zurückzuführen ist. Vor allem im Herbst und Winter, in denen die Weidequalität minderwertig ist oder die Quantität fehlt, gibt die Supplementierung mit einem energiereichen Ergänzungsmittel die Möglichkeit, das Muskelglykogen zu erhöhen und das Vorkommen von DFD-Rindfleisch zu reduzieren (Knee et al., 2007).

### **5.5.2. Umgebungstemperatur**

Der Umwelteinflussfaktor der Umgebungstemperatur ist am wenigsten zu kontrollieren. Vor allem während des Transportes müssen präventive Maßnahmen durchgeführt werden für die Minimierung von hohem pH-Fleisch. Die Tiere werden insbesondere im Sommer mit hohen Temperaturen konfrontiert. Ein gutes Lüftungsmanagement kann dem Mikroklima im Viehtransporter entgegenwirken. Durch die Installation von Ventilatoren oder Lüftungsöffnungen an den Seitenwänden kann den klimatischen Bedingungen entgegengesetzt werden und eine effiziente Wärmeabgabe erreicht werden (Broom, 2008; Mader et al., 2010; Mitchell und Kettlewell, 2008). Bei einem stehenden Lastwagen erhöht sich die Temperatur rasch im inneren des Transporters. Deswegen sollten Zwischenstopps, häufiges Anhalten und ein verzögertes Entladen vermieden werden (Grandin, 2014b). Darüber hinaus kann die organisatorische Planung der Fahrten eine Verbesserung bezüglich Tierwohl und Fleischqualität bringen. An heißen Tagen sollte der Transport morgens oder abends durchgeführt werden um den Höhepunkt der Tagestemperaturen zu meiden.

## **6. Empfehlungen zur Minimierung von DFD-Fleisch**

Da der Stress in der Vor-Schlachtungs-Phase nicht vollständig zu vermeiden ist, sollte dieser aber auf ein Minimum reduziert werden. Mehrere präventive Strategien am Betrieb, während des Transportes und während der Unterbringung am Schlachthof sind notwendig, um die Häufigkeit von zu hohen pH-Werten im Fleisch zu minimieren (Atkinson, 2000). Die Tatsache, dass in der vorliegenden Untersuchung nur eine vergleichsweise geringe Anzahl an Einflussfaktoren identifiziert werden konnte, lässt nicht den Schluss zu, dass andere Faktoren ignoriert werden können. Aus diesem Grund werden anschließend auf Basis der internationalen Literatur Empfehlungen zur Vermeidung von Belastungen in der Vor-Schlachtungs-Phase zusammengefasst und erläutert.

## Am Betrieb

- Wiederholtes Handling und Transportieren am Betrieb können Stress reduzieren. Demnach ist die frühe Interaktion zwischen Tier und Mensch ausschlaggebend für reibungslose und stressverminderte Abläufe in der Vor-Schlachtungs-Phase (Probst et al., 2012, 2013; Stockman et al., 2011).
- Die Umsetzung von gutem Management beim Handling in der Vor-Schlachtungsphase kann den sozialen Stress reduzieren (Miranda-de la Lama et al., 2013).
- Angepasste Einrichtungen zum Verladen am Betrieb sind notwendig für ein angemessenes Treiben der Tiere in den Transporter (Terlouw et al., 2008).
- Wenn weibliche Tieren sich erkennbar in der Brunst befinden, ist eine Verschiebung des Schlachtermins sinnvoll, um das höhere Risiko für DFD-Fleisch zu vermeiden.
- Die Selektion auf weniger temperamentvolle Tiere, die weniger anfällig auf Stress sind, wäre von Vorteil (Grandin, 2014a).
- Aus ernährungsphysiologischer Sicht erhöht die Bereitstellung einer energiereichen Ration und von Futtermittelzusätzen die Glykogenspeicherung, besonders in der Mast-Endphase (Gardner et al., 2014; Schaefer et al., 2001, 2006).
- Hitzestress am Betrieb kann durch angemessene Einrichtungen wie Ventilatoren entgegengewirkt werden (Ponnampalam et al., 2016) .
- In der Vor-Schlachtungs-Phase sollten Stresssituationen am Betrieb möglichst vermieden werden. Rinder sollten demnach in der Mastendphase in sozial stabilen Gruppen gehalten werden (Bartoš et al., 1993; Tarrant, 1989).

## Transport/Sammelstelle

- Adäquater Umgang mit den Tieren durch geschulte und qualifizierte Fahrer ist notwendig für ein ungehindertes Ver- und Entladen.
- Das Zusammenmischen von fremden Tieren sollte aufgrund von dadurch provozierten Rangauseinandersetzungen gemieden werden (Broom, 2014).
- Die Besatzdichte sollte der Tierart angepasst sein.
- Die Lastwagen sollten sehr sorgfältig gefahren werden, ohne abruptes Bremsen, insbesondere auf kurvenreichen Straßen (Broom, 2008).
- Die Laderampen müssen richtig gestaltet sein, mit angepasster Neigung der Rampe sowie mit angemessenem rutschfestem Material ohne scharfe Kanten, um die Bewegung der Tiere zu erleichtern und Verletzungen zu vermeiden (Grandin, 2008).
- Die Viehtransporter müssen so konzipiert, gebaut, gewartet und betrieben werden, dass die Tiere vor schlechtem Wetter, extremen Temperaturen, Veränderungen der klimatischen Bedingungen und Verletzungen geschützt sind (Broom, 2008; Mader et al., 2010; Miranda-de la Lama et al., 2014).

- Die Transportdauer sollte möglichst kurz sein und der Transportweg auf direktem Weg zum Schlachthof führen, ohne die Tiere an einem anderen Ort umzuladen (Ponnampalam et al., 2016; Ritter et al., 2006).
- Bei extremen Temperaturen oder Temperaturschwankungen sollte der Transport möglichst vermieden werden (Scanga et al., 1998).

## **Am Schlachthof**

- Konforme Einrichtungen an der Entlade-Stelle sowie der Tierart angepasste Treibgänge sind erforderlich für ein stressfreies Vorantreiben der Rinder. Dazu gehören rutschfeste Böden und entsprechend gute Lichtverhältnisse ohne Reflektionen von nassen Böden oder Metaleinrichtungen (Grandin, 2014b).
- Das Handling sollte durch geschultes und fachkompetentes Schlachtpersonal möglichst stressfrei sein (Terlouw et al., 2008).
- Die Wartezeit muss der vorherigen Transportdauer angepasst sein. Nach einer langen Fahrt sollte eine angemessene Erholungszeit der Tiere folgen. Andererseits soll die Wartezeit nicht zu lange sein, da der Gehalt an Muskelglykogen aufgrund des Futterentzuges weiter sinkt.
- Die Bereitstellung von Zucker oder Elektrolyten durch das Wasser, kann dazu beitragen, den Auswirkungen von Transportbelastungen entgegenzuwirken (Schaefer et al., 1997).

## **7. Schlussfolgerungen**

Unter den luxemburgischen Rinderhaltungs- und Transportbedingungen konnten vor allem mit der EUROP-Klassifizierung verbundene Rassenefekte identifiziert werden; zusätzlich lag ein Effekt der Umgebungstemperatur vor. Für die geringer bemuskelte Milchrasse Holstein lag ein erhöhtes Risiko vor, einen pH-Wert von über 5,7 aufzuweisen; damit liegt möglicherweise eine höhere Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von DFD-Fleisch vor. Mit einer adäquaten Fütterung vor der Schlachtung könnte diesem Effekt möglicherweise entgegengewirkt werden. In der vorliegenden Studie ergaben sich keine Hinweise, dass die untersuchten Bedingungen hinsichtlich Handling, Transport und Verhältnissen am Schlachthof Einfluss auf den pH-Wert nehmen. Diese Erkenntnisse könnten auf die kurzen Transportwege in Luxemburg und auf ein angemessenes Handling durch das Personal zurückzuführen sein.

## 8. Zusammenfassung

Dunkles, festes und trockenes Fleisch (DFD-Fleisch) wird durch einen zu hohen pH-Wert im Fleisch ausgelöst ( $>6,0$ ) und als Qualitätsmangel angesehen, der auch zu finanziellen Verlusten führt. Ziel dieser Studie war es, potentielle management- und tierbezogene Einflussfaktoren auf den pH-Wert von Rindfleisch zu identifizieren.

Dafür wurden 531 Rinder von 121 luxemburgischen Betrieben im Frühjahr 2017 erfasst. Insgesamt wurden 30 Variablen am Betrieb (z.B. Fütterung, Rasse) während des Transportes (z.B. Transportdauer) und am Schlachthof (z.B. Wartezeit) erhoben. Zusätzlich wurden für jedes einzelne Tier stressanzeigende Verhaltensweisen beim Verladen und Entladen festgehalten. Der pH-Wert wurde 24 (Schlachthof 2) bzw. 48 Stunden nach der Schlachtung (Schlachthof 1) gemessen. Für die statistische Auswertung wurden ein gemischtes lineares Modell (abhängige Variable: kontinuierlicher pH-Wert) und ein generalisiertes lineares gemischtes Modell (abhängige Variable:  $\text{pH} \geq 5,7$ ) herangezogen.

Bei 23,7% der Schlachtkörper lag der  $\text{pH-Wert} \geq 5,7$ ; der durchschnittliche pH-Wert betrug 5,58. Wenn der pH-Wert als kontinuierliche abhängige Variable berücksichtigt wurde, hatten die Faktoren Rasse, Schlachtkörperklassifizierung, Tierkategorie, Alter, Besatzdichte, Umgebungstemperatur sowie Schlachthof einen Einfluss. Das zweite endgültige Modell ergab, dass die Faktoren Rasse (Holstein vs. Limousin/andere Fleischrassen) und Schlachtkörperklassifizierung ( $U > R > O$ ) sowie steigende Umgebungstemperaturen die Wahrscheinlichkeit erhöhten, einen  $\text{pH-Wert} \geq 5,7$  zu erreichen. Es konnten keine offensichtlichen Probleme hinsichtlich Handling, Transport und Schlachthofbedingungen festgestellt werden. Dies lässt jedoch nicht den Schluss zu, dass andere als die identifizierten Faktoren keinen Einfluss nehmen. Daher ist ein umfassendes Management der unterschiedlichen Akteure der Wertschöpfungskette notwendig, um das Wohlbefinden der Tiere zu gewährleisten und eine gute Rindfleischqualität zu sichern

## 9. Abstract

Dark, firm and dry meat (DFD meat) is caused by a high final pH ( $> 6.0$ ) in the meat and is regarded as a quality deficiency which leads to financial losses. The aim of this study was to identify potential management and animal related factors affecting the pH value of beef.

For this purpose, 531 cattle from 121 Luxembourgish farms were assessed in spring 2017. In total, 30 variables were recorded on farm (e.g., feeding system, breed) during transport (e.g., duration of transport) and at the slaughterhouse (e.g., lairage time). In addition, stress-indicating behaviors during loading and unloading were recorded for each individual animal. The pH was measured 24 (slaughterhouse 2) or 48 hours after slaughter (slaughterhouse 1). For statistical analysis, a mixed linear model (dependent variable: continuous pH) as well as a generalized linear mixed model (dependent variable:  $\text{pH} \geq 5.7$ ) were used.

23.7% of the carcasses had a  $\text{pH} \geq 5.7$ ; the average pH was 5.58. When the pH-value was taken into account as continuous dependent variable, breed, carcass conformation, animal category, age, stocking density, ambient temperature and slaughterhouse were identified as influencing factors. The likelihood of reaching a  $\text{pH} \geq 5.7$  increased due to breed (Holstein vs. Limousin / other meat breeds) and carcass classification (U > R > O) as well as increasing ambient temperatures. No obvious problems regarding handling, transport and slaughterhouse conditions could be identified. However, this does not imply that factors other than those identified are unimportant. Therefore, a comprehensive management by all stakeholders involved in the beef production chain is necessary to ensure animal welfare and good beef quality.

## 10. Literaturverzeichnis

- ADZITEY, F. (2011): Effect of pre-slaughter animal handling on carcass and meat quality. *International Food Research Journal*, 18(2), 485–491.
- ADZITEY, F. & NURUL, H. (2011): Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: Causes and measures to reduce these incidences - a mini review. *International Food Research Journal*, 18(1), 11–20.
- AMTMANN, V. A., GALLO, C., VAN SCHAİK, G. & TADICH, N. (2006): Relationships between ante-mortem handling, blood based stress indicators and carcass pH in steers. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 38(3), 259–264.
- ANDERSEN, H. J., OKSBJERG, N., YOUNG, J. F. & THERKILDSEN, M. (2005): Feeding and meat quality - A future approach. *Meat Science*, 70(3 SPEC. ISS.), 543–554.
- APAOBLAZA, A. & GALLO, C. (2014): Live changes in muscle glycogen concentration of steers due to feeding and fasting as determined through serial biopsies of the Longissimus dorsi muscle. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(1), 55–58.
- APPLE, J. K., KEGLEY, E. B., GALLOWAY, D. L., WISTUBA, T. J. & RAKES, L. K. (2005): Duration of restraint and isolation stress as a model to study the dark-cutting condition in cattle. *Journal of Animal Science*, 83(5), 1202–1214.
- ATKINSON, S. (2000): *Farm Animal Transport , Welfare and Meat Quality*. Swedish University of Agricultural Sciences.
- BARTOŠ, L., FRANC, Č., ŘEHÁK, D. & ŠTÍPKOVÁ. (1993): A practical method to prevent dark-cutting (DFD) in beef. *Meat Science*, 34(3), 275–282.
- BASS, P. D., ENGLE, T. E., BELK, K. E., CHAPMAN, P. L., ARCHIBEQUE, S. L., SMITH, G. C. & TATUM, J. D. (2010): Effects of sex and short-term magnesium supplementation on stress responses and longissimus muscle quality characteristics of crossbred cattle. *Journal of Animal Science*, 88(1), 349–360.
- BOCCARD, R. L., NAUDÉ, R. T., CRONJE, D. E., SMIT, M. C., VENTER, H. J. & ROSSOUW, E. J. (1979): The influence of age, sex and breed of cattle on their muscle characteristics. *Meat Science*, 3(4), 261–280.
- BOOTH-MCLEAN, M. E; SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S; BROWN, F. A; HOLMES, C. L; SCHAEFER, A. L; MCALLISTER, T. A; MEARS, G. J. (2007): Physiological and behavioural responses to short-haul transport by stock trailer in finished steers. *Canadian Journal of Animal Science*, 87(3), 291–297.
- BOURGUET, C., DEISS, V., TANNUGI, C. C. & TERLOUW, E. M. C. (2011): Behavioural and physiological reactions of cattle in a commercial abattoir: Relationships with organisational aspects of the abattoir and animal characteristics. *Meat Science*, 88(1), 158–168.
- BROOM, D. M. (2005): The effects of land transport on animal welfare. *Revue Scientifique Et Technique De L Office International Des Epizooties*, 24(2), 683–691.
- BROOM, D. M. (2008): The welfare of livestock during road transport. In V. Cussen, L. Garcés, L. Lambert, V. Appleby & J. Turner (Eds.), *Long Distance Transport and the Welfare of Farm Animals* (pp. 157–181). Wallingford: CABI International.
- BROOM, D. M. (2014): Welfare of transported animals: factors influencing welfare and welfare assessment. In T. Grandin (Ed.), *Livestock Handling and Transport: Fourth Edition* (4th ed., pp. 23–38). Wallingford: CABI International.
- BURDICK, N. C., CARROLL, J. A., HULBERT, L. E., DAILEY, J. W., WILLARD, S. T., VANN, R. C., ... RANDEL, R. D. (2010): Relationships between temperament and transportation with rectal temperature and serum concentrations of cortisol and epinephrine in bulls. *Livestock Science*, 129(1-3), 166–172.
- BURDICK, N. C., RANDEL, R. D., CARROLL, J. A., & WELSH, T. H. (2011): Interactions between temperament, stress, and immune function in cattle. *International Journal of Zoology*.

- CAISSE D'ASSURANCE DES ANIMAUX DE BOUCHERIE. (2016): *DFD-Broschüre*. Luxembourg.
- CHEN, Y., ARSENAULT, R., NAPPER, S., & GRIEBEL, P. (2015): Models and methods to investigate acute stress responses in cattle. *Animals*, 5(4), 1268–1295.
- CHULAYO, A. Y., TADA, O., & MUCHENJE, V. (2012): Research on pre-slaughter stress and meat quality: A review of challenges faced under practical conditions. *Applied Animal Husbandry & Rural Development Appl. Anim. Husb. Rural Develop*, 5(5), 1–6.
- COOMBES, S. V., GARDNER, G. E., PETHICK, D. W. & MCGILCHRIST, P. (2014): The impact of beef cattle temperament assessed using flight speed on muscle glycogen, muscle lactate and plasma lactate concentrations at slaughter. *Meat Science*, 98(4), 815–821.
- DEL CAMPO, M., BRITO, G., SOARES DE LIMA, J., HERNÁNDEZ, P., & MONTOSI, F. (2010): Finishing diet, temperament and lairage time effects on carcass and meat quality traits in steers. *Meat Science*, 86(4), 908–914.
- DUNNE, P. G., KEANE, M. G., O'MARA, F. P., MONAHAN, F. J., & MOLONEY, A. P. (2004): Colour of subcutaneous adipose tissue and M. longissimus dorsi of high index dairy and beef x dairy cattle slaughtered at two liveweights as bulls and steers. *Meat Science*, 68(1), 97–106.
- EDWARDS, L. N., GRANDIN, T., ENGLE, T. E., RITTER, M. J., SOSNICKI, A. A., CARLSON, B. A., & ANDERSON, D. B. (2010): The effects of pre-slaughter pig management from the farm to the processing plant on pork quality. *Meat Science*, 86(4), 938–944.
- FAZIO, E., & FERLAZZO, A. (2003): Evaluation of stress during transport. *Veterinary Research Communications*, 27(SUPPL. 1), 519–524.
- FELL, L. R., & SHUTT, D. A. (1986): Adrenocortical Response of Calves To Transport Stress As Measured By Salivary Cortisol. *Canadian Journal of Animal Science*, 66(3), 637–641.
- FERGUSON, D. M., BRUCE, H. L., THOMPSON, J. M., EGAN, A. F., PERRY, D., & SHORTHOSE, W. R. (2001): Factors affecting beef palatability - Farmgate to chilled carcass. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41(7), 879–891.
- FERGUSON, D. M., & WARNER, R. D. (2008): Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Science*, 80(1), 12–19.
- FIEMS, L. O. (2012): Double muscling in cattle: Genes, husbandry, carcasses and meat. *Animals*, 2(3), 472–506.
- FRIMPONG, S., GEBRESENBET, G., BOBOBEE, E., AKLAKU, E., & HAMDU, I. (2014): Effect of Transportation and Pre-Slaughter Handling on Welfare and Meat Quality of Cattle: Case Study of Kumasi Abattoir, Ghana. *Veterinary Sciences*, 1(3), 174–191.
- GALLO, C. B., & HUERTAS, S. M. (2016): Main animal welfare problems in ruminant livestock during preslaughter operations: a South American view. *Animal*, 10(02), 357–364.
- GALLO, C., LIZONDO, G., & KNOWLES, T. G. (2003): Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *The Veterinary Record*, 152(1990), 361–364.
- GARDNER, G. E., MCGILCHRIST, P., & PETHICK, D. W. (2014): Ruminant glycogen metabolism. *Animal Production Science*, 54(10), 1575–1583.
- GRANDIN, T. (1980): Observation of cattle behavior applied to the design of cattle handling facilities. *Applied Animal Ethology*, 6., 19–31.
- GRANDIN, T. (1997): Assessment of Stress during Handling and Transport. *Journal of Animal Science*, 75(1), 249–257.
- GRANDIN, T. (2001): Cattle vocalizations are associated with handling and equipment problems at beef slaughter plants. *Applied Animal Behaviour Science*, 71(3), 191–201.
- GRANDIN, T. (2001): Perspectives on transportation issues: The importance of having physically fit cattle and pigs. *Journal of Animal Science*, 79(E-Suppl), E201.
- GRANDIN, T. (2008): Engineering and design of holding yards, loading ramps and handling facilities for land and sea transport of livestock. *Veterinaria Italiana*, 44(1), 235–45.

- GRANDIN, T. (2014a): Behavioural principles of handling cattle and other grazing animals under extensive conditions. In T. Grandin (Ed.), *Livestock Handling and Transport: Fourth Edition* (4th ed., pp. 39–64). Wallingford: CABI International.
- GRANDIN, T. (2014b): Improving welfare and reducing stress on animals at slaughter plants. In T. Grandin (Ed.), *Livestock Handling and Transport: Fourth Edition* (4th ed., pp. 421–450). Wallingford: CABI International.
- GRANDIN, T., & SHIVLEY, C. (2015): How farm animals react and perceive stressful situations such as handling, restraint, and transport. *Animals*, 5(4), 1233–1251.
- GRUBER, S. L., TATUM, J. D., GRANDIN, T., SCANGA, J. A., BELK, K. E., & SMITH, G. C. (2006): Is the difference in tenderness commonly observed between heifers and steers attributable to differences in temperament and reaction to pre-harvest stress.
- HANSON, D., CALKINS, C. R., MILTON, T., HANSON, D., CALKINS, C., & MILTON, T. (2000): The Effects of Induced Stress and Supplemental Chromium on Meat Quality of Finishing Heifers. *Nebraska Beef Cattle Reports*, 371.
- HEMSWORTH, P. H., RICE, M., KARLEN, M. G., CALLEJA, L., BARNETT, J. L., NASH, J., & COLEMAN, G. J. (2011): Human-animal interactions at abattoirs: Relationships between handling and animal stress in sheep and cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 135(1-2), 24–33.
- HOLDSTOCK, J., AALHUS, J. L., UTTARO, B. A., LÓPEZ-CAMPOS, Ó., LARSEN, I. L., & BRUCE, H. L. (2014): The impact of ultimate pH on muscle characteristics and sensory attributes of the longissimus thoracis within the dark cutting (Canada B4) beef carcass grade. *Meat Science*, 98(4), 842–849.
- HOPKINS, D. L., STANLEY, D. F., MARTIN, L. C., TOOHEY, E. S., & GILMOUR, A. R. (2007): Genotype and age effects on sheep meat production. 3. Meat quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(10), 1155–1164.
- HUFF-LONERGAN, E., & LONERGAN, S. M. (2005): Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71(1), 194–204.
- HUGHES, J. M., KEARNEY, G., & WARNER, R. D. (2014): Improving beef meat colour scores at carcass grading. *Animal Production Science*, 54(4), 422–429.
- HULTGREN, J., WIBERG, S., BERG, C., CVEK, K., & LUNNER KOLSTRUP, C. (2014): Cattle behaviours and stockperson actions related to impaired animal welfare at Swedish slaughter plants. *Applied Animal Behaviour Science*, 152, 23–37.
- HUZZEY, J. M., DEVRIES, T. J., VALOIS, P., & VON KEYSERLINGK, M. A. G. (2006): Stocking Density and Feed Barrier Design Affect the Feeding and Social Behavior of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(1), 126–133.
- IMMONEN, K., & PUOLANNE, E. (2000): Variation of residual glycogen-glucose concentration at ultimate pH values below 5.75. *Meat Science*, 55(3), 279–283.
- IMMONEN, K., RUUSUNEN, M., HISSA, K., & PUOLANNE, E. (2000): Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Science*, 55(1), 25–31.
- IMMONEN, K., SCHAEFER, D. M., PUOLANNE, E., KAUFFMAN, R. G., & NORDHEIM, E. V. (2000): The relative effect of dietary energy density on repleted and resting muscle glycogen concentrations. *Meat Science*, 54(2), 155–162.
- JELENÍKOVÁ, J., PIPEK, P., & STARUCH, L. (2008): The influence of ante-mortem treatment on relationship between pH and tenderness of beef. *Meat Science*, 80(3), 870–874.
- JEREMIAH, L. E., A.K.W., T., & GIBSON, L. L. (1991): The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcasses into tenderness groups. *Meat Science*, 30(2), 97–114.
- JONES, S. D. M., & TONG, A. K. W. (1989): Factors influencing the commercial incidence of dark cutting beef. *Journal of Animal Science*, 69, 649–654.
- KEELING, L. J. (2005): Healthy and happy: animal welfare as an integral part of sustainable agriculture. *Ambio*, 34(4-5), 316–319.

- KELAVA, N., KONJA, M., IVANKOVI, A., JAKOPOVI, T., & KOS, I. (2008): *Meat colour and pH value of Simmental steers and heifers slaughtered at different age*. Zagreb.
- KENNY, F. J., & TARRANT, P. V. (1987a): The behaviour of young Friesian bulls during social re-grouping at an abattoir. Influence of an overhead electrified wire grid. *Applied Animal Behaviour Science*, 18(3-4), 233–246.
- KENNY, F. J., & TARRANT, P. V. (1987b): The reaction of young bulls to short-haul road transport. *Applied Animal Behaviour Science*, 17(3-4), 209–227.
- KENNY, F. J., & TARRANT, P. V. (1988): The effect of estrus behavior on muscle glycogen concentration and dark-cutting in beef heifers. *Meat Science*, 22(1), 21–31.
- KING, D. A., SCHUEHLE PFEIFFER, C. E., RANDEL, R. D., WELSH, T. H., OLIPHINT, R. A., BAIRD, B. E., ... SAVELL, J. W. (2006): Influence of animal temperament and stress responsiveness on the carcass quality and beef tenderness of feedlot cattle. *Meat Science*, 74(3), 546–556.
- KNEE, B. W., CUMMINS, L. J., WALKER, P. J., KEARNEY, G. A., & WARNER, R. D. (2007): Reducing dark-cutting in pasture-fed beef steers by high-energy supplementation. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(11), 1277–1283.
- KNOWLES, T. G. (1999): A review of the road transport of cattle. *Veterinary Record*, 144(8), 197–201.
- KNOWLES, T. G., WARRISS, P. D., & VOGEL, K. (2014): Stress physiology of animals during transport. In T. Grandin (Ed.), *Livestock Handling and Transport: Fourth Edition* (4th ed., pp. 399–420). Wallingford: CABI International.
- KREIKEMEIER, K. K., UNRUH, J. A., & ECK, T. P. (1998): Factors Affecting the Occurrence of Dark-Cutting Beef and Selected Carcass Traits in Finished Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, 76(2), 388–395.
- LACOURT, A., & TARRANT, P. V. (1985): Glycogen depletion patterns in myofibres of cattle during stress. *Meat Science*, 15(2), 85–100.
- LE NEINDRE, P., BOIVIN, X., & BOISSY, A. (1996): Handling of extensively kept animals. *Applied Animal Behaviour Science*, 49(1), 73–81.
- LENSINK, B. J., FERNANDEZ, X., COZZI, G., FLORAND, L., & VEISSIER, I. (2001): The influence of farmers' behavior on calves' reactions to transport and quality of veal meat. *Journal of Animal Science*, 79(3), 642–652.
- MACH, N., BACH, A., VELARDE, A., & DEVANT, M. (2008): Association between animal, transportation, slaughterhouse practices, and meat pH in beef. *Meat Science*, 78(3), 232–238.
- MADER, T. L., JOHNSON, L. J., & GAUGHAN, J. B. (2010): A comprehensive index for assessing environmental stress in animals. *Journal of Animal Science*, 88(6), 2153–2165.
- MAHMOOD, S., BASARAB, J. A., DIXON, W. T., & BRUCE, H. L. (2016): Relationship between phenotype, carcass characteristics and the incidence of dark cutting in heifers. *Meat Science*, 121(March), 261–271.
- MARÍA, G. A., VILLARROEL, M., CHACÓN, G., & GEBRESENBET, G. (2004): Scoring system for evaluating the stress to cattle of commercial loading and unloading. *The Veterinary Record*, 154(26), 818–821.
- MCGILCHRIST, P., ALSTON, C. L., GARDNER, G. E., THOMSON, K. L., & PETHICK, D. W. (2012): Beef carcasses with larger eye muscle areas, lower ossification scores and improved nutrition have a lower incidence of dark cutting. *Meat Science*, 92(4), 474–480.
- MCGILCHRIST, P., PETHICK, D. W., BONNY, S. P. F., GREENWOOD, P. L., & GARDNER, G. E. (2011a): Beef cattle selected for increased muscularity have a reduced muscle response and increased adipose tissue response to adrenaline. *Animal*, 5(6), 875–884.
- MCGILCHRIST, P., PETHICK, D. W., BONNY, S. P. F., GREENWOOD, P. L., & GARDNER, G. E. (2011b): Whole body insulin responsiveness is higher in beef steers selected for

- increased muscling. *Animal*, 5(10), 1579–1586.
- MCVEIGH, J. M., & TARRANT, P. V. (1982): Glycogen content and repletion rates in beef muscle, effect of feeding and fasting. *The Journal of Nutrition*, 112(7), 1306–1314.
- MCVEIGH, J. M., & TARRANT, P. V. (1983): Effect of Propanaol on muscle glycogen metabolism during social regrouping of young bulls. *Journal of Animal Science*, 56(1).
- MILLER, M. (2007): Dark, firm and dry beef. *Beef Facts-Product Enhancements*.
- MIRANDA-DE LA LAMA, G. C., PASCUAL-ALONSO, M., GUERRERO, A., ALBERTI, P., ALIERTA, S., SANS, P., ... MARÍA, G. A. (2013): Influence of social dominance on production, welfare and the quality of meat from beef bulls. *Meat Science*, 94(4), 432–437.
- MIRANDA-DE LA LAMA, G. C., VILLARROEL, M., & MARIA, G. A. (2014): Livestock transport from the perspective of the pre-slaughter logistic chain: A review. *Meat Science*, 98(1), 9–20.
- MITCHELL, M. A., & KETTLEWELL, P. J. (2008): Engineering and design of vehicles for long distance road transport of livestock (ruminants, pigs and poultry). *Veterinaria Italiana*, 44(1), 201–213.
- MOBERG, G. P. (2000): Biological response to stress: Implications for animal welfare. *The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare*.
- MORZEL, M., SOHIER, D., & VAN DE VIS, H. (2003): Evaluation of slaughtering methods for turbot with respect to animal welfare and flesh quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(1), 19–28.
- MOUNIER, L., DUBROEUCQ, H., ANDANSON, S., & VEISSIER, I. (2006): Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *Journal of Animal Science*, 84(6), 1567–1576.
- MUCHENJE, V., DZAMA, K., CHIMONYO, M., STRYDOM, P. E., & RAATS, J. G. (2009): Relationship between pre-slaughter stress responsiveness and beef quality in three cattle breeds. *Meat Science*, 81(4), 653–657.
- MUNKSGAARD, L., & SIMONSEN, H. B. (1996): Behavioral and Pituitary Adrenal-Axis Responses of Dairy Cows to Social Isolation and Deprivation of Lying Down. *Journal of Animal Science*, 74(4), 769–778.
- NJISANE, Y. Z., & MUCHENJE, V. (2017): Farm to abattoir conditions, animal factors and their subsequent effects on cattle behavioural responses and beef quality - A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(6), 755–764.
- ÖNENÇ, A. (2004): Dark cutting incidence in Holstein Friesian, Brown Swiss and Eastern Anatolian Red Cattle slaughtered under Turkish commercial slaughter conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7(1), 96–99.
- PARANHOS DA COSTA, M.J.R.; HUERTAS, S.M., STRAPPINI, A. C., & GALLO, C. (2014): Handling and transport of cattle and pigs in South America. In T. Grandin (Ed.), *Livestock Handling and Transport: Fourth Edition* (4th ed., pp. 174–192). Wallingford: CABI International.
- PÉREZ-LINARES, C., ALBERTO BARRERAS, S., EDUARDO SÁNCHEZ, L., BÁRBARA HERRERA, S., & FIGUEROA-SAAVEDRA, F. (2015): The effect of changing the pre-slaughter handling on bovine cattle DFD meat | Efecto del cambio en el manejo antemortem sobre la presencia de carne DFD en ganado bovino. *Revista MVZ Cordoba*, 20(3).
- PIPEK, P., HABERL, A., & JELENÍKOVÁ, J. (2003): Influence of slaughterhouse handling on the quality of beef carcasses. *Czech Journal of Animal Science*, 48(9), 371–378.
- PONNAMPALAM, E. N., BEKHIT, A., HOPKINS, D. L., BRUCE, H., & LI, D. (2016): Final Report – Causes and contributing factors to dark cutting: Current trends and future directions, 1–102.
- PROBST, J. K., HILLMANN, E., LEIBER, F., KREUZER, M., & SPENGLER NEFF, A. (2013): Influence of gentle touching applied few weeks before slaughter on avoidance distance and slaughter stress in finishing cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 144(1-2), 14–21.

- PROBST, J. K., SPENGLER NEFF, A., LEIBER, F., KREUZER, M., & HILLMANN, E. (2012): Gentle touching in early life reduces avoidance distance and slaughter stress in beef cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 139(1-2), 42–49.
- PULFORD, D. J., DOBBIE, P., FRAGA VAZQUEZ, S., FRASER-SMITH, E., FROST, D. A., & MORRIS, C. A. (2009): Variation in bull beef quality due to ultimate muscle pH is correlated to endopeptidase and small heat shock protein levels. *Meat Science*, 83(1), 1–9.
- PUOLANNE, E., & AALTO, H. (1981): The incidence of dark-cutting beef in young bulls in Finland. *The Problem of Dark-Cutting in Beef*, 462–475.
- PURCHAS, R. W., YAN, X., & HARTLEY, D. G. (1999): The influence of a period of ageing on the relationship between ultimate pH and shear values of beef m. longissimus thoracis. *Meat Science*, 51(2), 135–141.
- RITTER, M. J., ELLIS, M., BRINKMANN, J., DEDECKER, J. M., KEFFABER, K. K., KOCHER, M. E., ... WOLTER, B. F. (2006): Effect of floor space during transport of market-weight pigs on the incidence of transport losses at the packing plant and the relationships between transport conditions and losses. *Journal of Animal Science*, 84(10), 2856–2864.
- ROSA, A., FONSECA, R., BALIEIRO, J. C., POLETI, M. D., DOMENECH-PÉREZ, K., FARNETANI, B., & ELER, J. (2016): Incidence of DFD meat on Brazilian beef cuts. *Meat Science*, 112, 132–133.
- RUSHEN, J., TAYLOR, A. A., & DE PASSILLÉ, A. M. (1999): Domestic animals' fear of humans and its effect on their welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 65(3), 285–303.
- SANTURTUN, E., & PHILLIPS, C. J. C. (2015): The impact of vehicle motion during transport on animal welfare. *Research in Veterinary Science*, 100, 303–308.
- SAVELL, J. W., & CHAIRHOLDER, E. M. M. R. (2005): Beef Carcass Chilling: Current Understanding, Future Challenges, 7.
- SCANGA, J. A., BELK, K. E., TATUM, J. D., GRANDIN, T., & SMITH, G. C. (1998): Factors Contributing to the Incidence of Dark Cutting Beef. *Journal of Animal Science*, 76(8), 2040–2047.
- SCHAEFER, A. L., DUBESKI, P. L., AALHUS, J. L., & TONG, A. K. W. (2001): Role of nutrition in reducing antemortem stress and meat quality aberrations. *Journal of Animal Science*, 79(957), E91–E101.
- SCHAEFER, A. L., JONES, S. D. M., & STANLEY, R. W. (1997): The Use of Electrolyte Solutions for Reducing Transport Stress. *Journal of Animal Science*, 75(1), 258–265.
- SCHAEFER, A. L., STANLEY, R. W., TONG, A. K. W., DUBESKI, P. ., ROBINSON, B., & AALHUS, J. L. ET AL. (2006): The impact of antemortem nutrition in beef cattle on carcass yield and quality grade. *Canadian Journal of Animal Science*, 86(3), 317–323.
- SCHWARTZKOPF-GENSWEIN, K. S., & GRANDIN, T. (2014): Cattle transport by road. In T. Grandin (Ed.), *Livestock Handling and Transport: Fourth Edition* (4th ed., pp. 143–173). Wallingford: CABI International.
- SHACKELFORD, S. D., KOOHMARAIE, M., WHEELER, T. L., CUNDIFF, L. V., & DIKEMAN, M. E. (1994): Effect of biological type of cattle on the incidence of the dark, firm, and dry condition in the longissimus muscle. *Journal of Animal Science*, 72(2), 337–343.
- SERVICE D'ÉCONOMIE RURALE (2016): Die luxemburgische Landwirtschaft in Zahlen. Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la protection des consommateurs.
- SIEGEL, P.B. AND HONAKER, C. F. (2014): General principles of stress and well-being. In T. Grandin (Ed.), *Livestock Handling and Transport: Fourth Edition* (4th ed., pp. 14–22). Wallingford: CABI International.
- SILVA, J. A., PATARATA, L., & MARTINS, C. (1999): Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *Meat Science*, 52(4), 453–459.
- STOCKMAN, C. A., COLLINS, T., BARNES, A. L., MILLER, D., WICKHAM, S. L., BEATTY, D. T., ... FLEMING, P. A. (2011): Qualitative behavioural assessment and quantitative

- physiological measurement of cattle naive and habituated to road transport. *Animal Production Science*, 51(3), 240–249.
- STOCKMAN, C. A., COLLINS, T., BARNES, A. L., MILLER, D., WICKHAM, S. L., BEATTY, D. T., ... FLEMING, P. A. (2013): Flooring and driving conditions during road transport influence the behavioural expression of cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 143(1), 18–30.
- SWANSON, J. C. (2001): Cattle transport : Historical , research , and future perspectives 1. *Animal Science*, 79(January), 102–109.
- TARRANT, P. V. (1990): Transportation of cattle by road. *Applied Animal Behaviour Science*, 28(1-2), 153–170.
- TARRANT, P. V., KENNY, F. J., & HARRINGTON, D. (1988): The effect of stocking density during 4 hour transport to slaughter on behaviour, blood constituents and carcass bruising in Friesian steers. *Meat Science*, 24(3), 209–222.
- TARRANT, P. (1989): Animal Behaviour and Environment in the Dark-Cutting Condition in Beef - A Review. *Irish Journal of Food Science and Technology*, 13(1), 1–21.
- TARRANT, P. V., KENNY, F. J., HARRINGTON, D., & MURPHY, M. (1992): Long distance transportation of steers to slaughter: effect of stocking density on physiology, behaviour and carcass quality. *Livestock Production Science*, 30(3), 223–238.
- TEKE, B., AKDAG, F., EKIZ, B., & UGURLU, M. (2014): Effects of different lairage times after long distance transportation on carcass and meat quality characteristics of Hungarian Simmental bulls. *Meat Science*, 96(1), 224–229.
- TENNESSEN, T., PRICE, M. A., & BERG, R. T. (1985): The social interactions of young bulls and steers after re-grouping. *Applied Animal Behaviour Science*, 14(1), 37–47.
- TERLOUW, E. M. C., ARNOULD, C., AUPERIN, B., BERRI, C., LE BIHAN-DUVAL, E., DEISS, V., ... MOUNIER, L. (2008): Pre-slaughter conditions, animal stress and welfare: current status and possible future research. *Animals*, 1501–1517.
- TRUNKFIELD, H. R., & BROOM, D. M. (1991): The effects of the social environment on calf responses to handling and transport. *Applied Animal Behaviour Science*, 30(1), 177.
- VAN DE WATER, G., VERJANS, F., & GEERS, R. (2003): The effect of short distance transport under commercial conditions on the physiology of slaughter calves; pH and colour profiles of veal. *Livestock Production Science*, 82(2-3), 171–179.
- VELIK, M. D. (2008): Fleischqualität beim Rind – Merkmale und Einflussfaktoren. 35. *Viehwirtschaftliche Fachtagung, LFZ Raumberg-Gumpenstein*, 115–119.
- VILJOEN, H. , DE KOCK, H. , & WEBB, E. (2002): Consumer acceptability of dark, firm and dry (DFD) and normal pH beef steaks. *Meat Science*, 61(2), 181–185.
- VIMISO, P., & MUCHENJE, V. (2013): A survey on the effect of transport method on bruises , pH and colour of meat from cattle slaughtered at a South African commercial abattoir. *South African Journal of Animal Science*, 43(1), 110–121.
- VOISINET, B. D., GRANDIN, T., O’CONNOR, S. F., TATUM, J. D., & DEESING, M. J. (1997): Bos indicus-cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Science*, 46(4), 367–377.
- WARNER, R. D., DUNSHEA, F. R., GUTZKE, D., LAU, J., & KEARNEY, G. (2014): Factors influencing the incidence of high rigor temperature in beef carcasses in Australia. *Animal Production Science*, 54(4), 363–374.
- WARREN, L. A., MANDELL, I. B., & BATEMAN, K. G. (2010): Road transport conditions of slaughter cattle: Effects on the prevalence of dark, firm and dry beef. *Canadian Journal of Animal Science*, 90(4), 471–482.
- WARRISS, P. D. (1990): The handling of cattle pre-slaughter and its effects on carcass and meat quality. *Applied Animal Behaviour Science*, 28(1-2), 171–186.
- WARRISS, P. D. (2010): *Meat Science: an introductory text* (2nd ed.). Wallingford: CABI International.
- WARRISS, P. D., KESTIN, S. C., BROWN, S. N., & WILKINS, L. J. (1984): The time required for

- recovery from mixing stress in young bulls and the prevention of dark cutting beef. *Meat Science*, 10(1), 53–68.
- WĘGLARZ, A. (2010): Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season. *Czech Journal of Animal Science*, 55(12), 548–556.
- WELFARE QUALITY (2009): Welfare Quality Assessment protocol for cattle. *Welfare Quality® Assessment Protocol for Cattle*, 1–142.
- WULF, D. M., EMNETT, R. S., LEHESKA, J. M., & MOELLER, S. J. (2002): Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*, 80(7), 1895–1903.
- WULF, D. M., O'CONNOR, S. F., TATUM, J. D., & SMITH, G. C. (1997): Using Objective Measures of Muscle Color to Predict Beef Longissimus Tenderness. *Journal of Animal Science*, 75(3), 684–692.
- YOUNG, O. A., THOMSON, R. D., MERHTENS, V. G., & LOEFFEN, M. P. F. (2004): Industrial application to cattle of a method for the early determination of meat ultimate pH. *Meat Science*, 67(1), 107–112.

## 11. Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b> Die Anzahl der DFD-Schlachtkörper in Prozent der monatlichen Schlachtungen in der Periode 1.Juli 2010 bis September 2015 (Caisse d'Assurance des Animaux de Boucherie, 2016) .....	22
<b>Abbildung 2</b> Wartezeit aller Tiere am Schlachthof in Stunden.....	30
<b>Abbildung 3</b> Relative Auftretenshäufigkeit der verschiedenen stressanzeigenden Verhaltensweisen, ausgedrückt als Anteil Tiere, die das jeweilige Verhalten zeigten (n=531) .....	31
<b>Bild 1</b> Normale Fleischfarbe (links) und dunkle DFD-Fleischfarbe (rechts) (Miller, 2007)	6
<b>Bild 2</b> Schematische Darstellung eines biologischen Ansatzes in der Fleischindustrie, mit gegenseitigen Interaktionsfaktoren, die in quantitativer Hinsicht verstanden werden müssen, um die idealen Entscheidungen für zukünftige Fleischqualitätskontrolle zu entwickeln (Andersen et al., 2005) .....	9
<b>Bild 3</b> flüssiger Treibfluss beim Entladen wird durch Schlachthofeinrichtung behindert (Foto: Annick Wolter).....	19
<b>Bild 4</b> topographische Karte von Luxemburg mit Lage der Schlachthöfe (rot) und Viehhändler bzw. Sammelstellen (schwarz) .....	23
<b>Bild 5</b> Auseinandersetzung zwischen zwei Stieren beim Verladen; hier dauerte der dadurch verzögerte Verladeprozess 12 Minuten (Foto: Annick Wolter) .....	41

## 12. Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b> Physiologische Indikatoren für Stress während des Transportes (Knowles et al.,2014).....	4
<b>Tabelle 2</b> Häufigkeit von DFD-Fleisch in verschiedenen Ländern.....	7
<b>Tabelle 3</b> benötigte Fläche je Gewichtseinheit während des Transportes.....	14
<b>Tabelle 4</b> Anzahl landwirtschaftliche Betriebe im Jahr 2015 nach deren betriebswirtschaftlicher Ausrichtung (Service d'économie rurale, 2016). ....	21
<b>Tabelle 5</b> Beschreibung der Verhaltensweisen der Tiere während des Verladens und Entladens (Hultgren et al.,2014; María et al., 2004; Welfare Quality, 2009) .....	24
<b>Tabelle 6</b> Kategorienbildung und Gewichtung innerhalb der Kategorien zur Aufstellung eines Gesamtscores für die Einschätzung des Verlade-bzw. des Entlade- Verlaufs .....	26
<b>Tabelle 7</b> Anzahl Beobachtungen und relative Häufigkeit für die kategorischen Variablen .....	27
<b>Tabelle 8</b> Mittelwert, Standardabweichung (SD), Minimum und Maximum der kontinuierlichen Variablen .....	29
<b>Tabelle 9</b> Dauer, Hilfsmiteleininsatz und Auftreten von stressanzeigenden Verhaltensweisen beim Verladen am Betrieb und an der Sammelstelle: Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum .....	32
<b>Tabelle 10</b> Dauer, Hilfsmiteleininsatz und Auftreten von stressanzeigenden Verhaltensweisen beim Entladen an der Sammelstelle und am Schlachthof: Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum .....	32
<b>Tabelle 11</b> Beurteilung des Verladens und Entladens.....	33
<b>Tabelle 12</b> Ergebnisse der univariablen Analyse für den Zusammenhang zwischen kontinuierlichen und kategorischen Variablen mit dem pH-Wert (als kontinuierliches Merkmal); in orange hervorgehoben sind die Faktoren die in die multivariable Modellierung eingingen ( $p < 0,20$ ) .....	34
<b>Tabelle 13</b> Schätzwerte für die im Modell verbliebenden Einflussfaktoren auf den pH-Wert (kontinuierlich) .....	36
<b>Tabelle 14</b> Ergebnisse der univariablen Analyse für den Zusammenhang zwischen kontinuierlichen und kategorischen Variablen mit dem pH-Wert (als binäres Merkmal); in orange hervorgehoben sind die Faktoren die in die multivariable Modellierung eingingen ( $p < 0,20$ ) .....	37
<b>Tabelle 15</b> Schätzwerte (log odds) für die im Modell verbliebenden Einflussfaktoren auf den pH-Wert (binäres Merkmal) .....	38

## 13. Anhang

### Fragebogen an den Landwirt

Auswirkungen von Verladen, Transport und Entladen von Rindern auf den pH-Wert des Fleisches.

Anschrift: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Wie viele Tiere befinden sich auf Ihrem Betrieb? \_\_\_\_\_

Wie viele Personen sind mit den betreffenden Tieren in Kontakt (z.B. Fütterung)?  
\_\_\_\_\_

	Lebensnummer	Letzte Fütterung*	Letzte Futterumteilung (Weide, KF)	Fütterung-Ration (Maissilo, KF)	Letzte Neugruppierung	Einschätzung des Temperaments (ruhig-normal-nervös)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

\*zum Zeitpunkt des Verladens, vorhanden (+)

Hiermit bestätige ich, dass meine Angaben und die Erhebungen, die auf meinem Betrieb durchgeführt werden, zu wissenschaftlichen Zwecken genutzt werden dürfen.

Unterschrift des Landwirtes/in \_\_\_\_\_

## Erhebungsbogen am Betrieb

Datum: \_\_\_\_\_

	Lebensnummer	Name Betrieb	Bucht Nr*	Rasse	Geschlecht m/w	behorrt	Haltungsform (Tretmist, Spalten)	Tierzahl in der Bucht	Größe der Bucht	Anzahl Fressplätze	Lahmheit 0 = nicht lahm 1=leicht/mäßig lahm 2 = schwer lahm	Subjektive Eins des Temperam 1 = sehr ruhig 10 = sehr nervös
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

\*die Tiere, die zusammen in derselben Box stehen

**Sonstige Auffälligkeiten:** Brünstige Kühe? \_\_\_\_\_ BSC, magere Kühe? \_\_\_\_\_

Verletzungen (Mastitis)? \_\_\_\_\_

## Verladen am Betrieb

Datum:

	Lebensnummer	Name Betrieb	Anfangs-zeit	Endzeit	Anzahl Hilfsmittel zum Treiben	Anzahl Vokalisatio n	Anzahl des Zustandes „starr stehen“	Anzahl koten	Anzahl Ausrutschen	Anzahl „sich umdrehen“	Anzahl „rückwärtsgehen“
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

Sonstige Auffälligkeiten:

# Transport

- Name des Transporteurs (Viehhändler / Landwirt): \_\_\_\_\_
  
- Anzahl Zwischenstopps (auf Betrieben zum Verladen): \_\_\_\_\_
  
- **Uhrzeit** bei Ankunft am Schlachthof  oder Sammelstelle   
\_\_\_\_\_
  
- Umgebungstemperatur: \_\_\_\_\_
- Anordnung der Tiere im Lastwagen in die verschiedenen Abteilungen:  
(wobei Abteil 1 = vorne im Lastwagen)

	Lebensnummern
Abteil 1	
Abteil 2	
Abteil 3	
Abteil 4	
Abteil 5	

	Lebensnummer	Beginn des Transportes	Transportdauer (h)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			

## Entladen- Sammelstelle

Name Viehhandel:

Datum:

	Lebensnummer	Anfangszeit	Endzeit	Hilfsmittel zum Treiben-Intensität	Anzahl Vokalisationen	Anzahl des Zustandes „starr stehen“	Anzahl koten	Anzahl Ausrutschen	Anzahl „sich umdrehen“	Anzahl „rückwärtsgehen“
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

Sonstige Auffälligkeiten:

## Erhebung- Sammelstelle

Ankunft: \_\_\_\_\_ Abfahrt: \_\_\_\_\_

Ort: \_\_\_\_\_

Name Viehhändler: \_\_\_\_\_

Futterangebot:    ja             nein

Wasserangebot:    ja             nein

	Lebensnummer	Gruppierung der Tiere*	Ankunftszeit	Abfahrtszeit	Zum Zeitpunkt der Abfahrt, subjektive Einschätzung des Temperaments**
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

\*Zusammenstellen mit bekannten/fremder Tiere    \*\*1=sehr ruhig, 10=sehr nervös

Sonstige Auffälligkeiten: Verletzungen? Verschwitzt?

## Verladen- Sammelstelle

Name Viehhandel:

Datum:

	Lebensnummer	Anfangszeit	Endzeit	Hilfsmittel zum Treiben-Intensität	Anzahl Vokalisationen	Anzahl des Zustandes „starr stehen“	Anzahl koten	Anzahl Ausrutschen	Anzahl „sich umdrehen“	Anzahl „rückwärtsgehen“
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

Sonstige Auffälligkeiten:

## Entladen am Schlachthof

Name Schlachthof:

Datum:

	Lebensnummer	Beginn des Entladens	Ende des Entladens	Anzahl Hilfsmittel zum Treiben	Anzahl Vokalisationen	Anzahl des Zustandes „starr stehen“	Anzahl koten	Anzahl Ausrutschen	Anzahl „sich umdrehen“	Anzahl rückwärtsgehen	Anzahl Verweigerung der Box	Wartezeit
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

Sonstige Auffälligkeiten: Gruppenbox?