

**Automatisierte Erfassung und Monitoring von
biophysikalischen Vitalfunktionen bei weiblichen
Rindern vom Transport bis zur Schlachtung
am Beispiel eines mittelständigen Schlachtbetriebs**

**Dissertation
zur Erlangung des
Doktorgrades der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)**

der

Naturwissenschaftlichen Fakultät III
Agrar- und Ernährungswissenschaften,
Geowissenschaften und Informatik

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Christian Korb

- 1.** Gutachter: Prof. Dr. Eberhard von Borell
- 2.** Gutachter: Prof. Dr. Daniel Mörlein

Tag der Verteidigung: 03.06.2024

Meinem lieben Vater

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	8
TABELLENVERZEICHNIS	11
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	13
I. EINLEITUNG	17
I. GRUNDLAGEN ZUR BEURTEILUNG DES TRANSPORTES UND DER SCHLACHTUNG VON RINDERN	20
2. Stress bei Nutztieren	20
2.1. Physiologische Parameter	22
2.1.1. Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität	22
2.1.2. Atemfrequenz	26
2.1.3. Körpertemperatur	27
2.1.4. Endokrine Reaktion	27
2.2. Verhaltensparameter	28
2.2.1. Verhaltensdarstellung	28
2.2.2. Vokalisationen	29
2.2.3. Stress-Tests	30
2.3. Psychologische Parameter	31
2.4. Stress als Einflussfaktor auf die Fleischqualität	32
3. Ökonomische Einordnung von Rindern als Nutztier rasse	34
4. Transport und Schlachtung	35
4.1. Rechtliche Bestimmungen beim Tierschutz und Wirkungsweisen der Betäubung	35
4.2. Das Verhalten von Schlachtrindern während und nach dem Transport	39
4.3. Leitparameter bei der Schlachtung nach Temple Grandin	41
5. Forschungsstand	46
6. Allgemeiner Ansatz und Ziel der Arbeit	48

II. EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG ZUR BEURTEILUNG DES TRANSPORTES UND DER SCHLACHTUNG VON RINDERN	51
1. Tiere und Untersuchungsaufbau	51
1.1. Tiere	51
1.2. Aufbau der Untersuchung	52
2. Erfassung, Export und Verarbeitung von Daten	56
2.1. Erfassung der Messdaten	56
2.2. Export der Messdaten vom BioHarness 3	56
2.3. Datenverarbeitung	58
3. Beschreibung der gemessenen Parameter	59
3.1. Physiologische Parameter	59
3.2. Verhaltensparameter	60
3.3. Audit der Leitlinien nach Temple Grandin	62
3.4. Postmortale Veränderungen des Fleisches, Messung des pH- Wertes	67
4. Datenauswertung	68
4.1. Aufbereitung der Daten	68
4.2. Kurzbeschreibung der durch die Analysesoftware KUBIOS HRV ermittelten Daten	68
5. Statistische Analyse	78
III. ERGEBNISSE DER EMPIRISCHEN UNTERSUCHUNG	83
1. Physiologische Parameter	83
1.3. Herzparameter unter dem Einfluss der Transportentfernung, den 4 Abschnitten und deren Wechselwirkung	83
1.4. Herzparameter unter dem Einfluss der Transportentfernung, der Abschnittsdauer und deren Wechselwirkungen	92
1.5. EKG Amplitude (mV)	98
1.6. Atemfrequenz (Atemzüge/min)	101
1.7. Körpertemperatur (°C)	103
2. Verhaltensparameter	105
2.1. Körperlage (Posture (°))	105
2.2. Aktivität (Activity (VMU))	107
2.3. Schritte (Walk steps)	111

2.4. Stolper-Index (°)	113
3. TGA Audit	115
4. Fleischqualitätsparameter pH-Wert	119
5. Zusammenfassung der empirischen Ergebnisse und Hypothesenprüfung	121
IV. DISKUSSION	124
6. Physiologische Parameter	127
7. Verhaltensparameter	142
8. Temple Grandin Audit / Vitalparameter	145
9. Fleischqualität und Fleischreifung	148
V. SCHLUSSFOLGERUNGEN	150
VI. ZUSAMMENFASSUNG	152
VII. ABSTRACT	154
ANHÄNGE	155
LITERATURVERZEICHNIS	168
DANKSAGUNG	185
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG	186

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

°

°C *Grad Celsius*

A

AMI *American Meat Institute*

AR *Autoregressiv*

B

BLE *Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung*

BMEL *Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft*

BMJV *Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz*

bpm *engl.-beats per minute (Schläge pro Minute)*

C

CSV *comma separated values*

D

DFA *engl. Detrended Fluctuations Analysis (Anti-Trend-Schwankungsanalyse)*

DFD *engl. dark, firm, dry (dunkel, fest, trocken)*

E

EDR *engl. ECG derived respiratory (Schätzung der Atemfrequenz, abgeleitete Atmung)*

EFSA *Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit*

EG *Europäische Gemeinschaft*

EKG *Elektrokardiogramm (engl. electrocardiogram, ECG)*

F

FFT *Fast Fourier Transformation*

H

HF *engl. High frequency power (Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,15-0,40 Hz)*

HR *engl. heart rate (Herzfrequenz)*

HRV *engl. Heart rate variability (Herzfrequenzvariabilität)*

J

JBT *engl. Judgement Bias Test (Urteilsverzerrungs-Test)*

L

LF *engl. Low frequency power (Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,04-0,15 Hz)*

LKW *Lastkraftwagen*

LP *Leitparameter*

LSM *engl. Least Square Means (Kleinste quadratische Mittelwerte)*

N

NOT *Novel Object Test*

O

OFT *Open Field Test*

OIE *engl. World Organisation for animal health*

P

pH *pondus hydrogenii*

PKW *Personenkraftwagen*

pNN50 *Prozentsatz aufeinanderfolgender RR- Intervalle, die mehr als 50ms voneinander abweichen*

PNS *Parasympathisches Nervensystem*

PSE *engl. pale, soft, exudative (blaß, weich, wässrig)*

Q

QRS Komplex *Kammerkomplex: Negative Q-Zacke, positive R-Zacke und negative S Zacke*

R

REML *engl. Restricted Maximum Likelihood*

RMSSD *engl. Root Mean Square of the Successive Differences (Quadratwurzel der Mittelwerte der Summe der Differenzen aufeinanderfolgender RR- Intervalle)*

RR *Abstand zwischen zwei Herzschlägen (HRV)*

RSA *Respiratorische Sinusarrhythmie*

S

SAS *sympathoadrenomedulläres System*

SDNN *Standardabweichung der RR Intervalle*

SNS *Sympathisches Nervensystem, sympathoneuronales System*

T

TGA *Temple Grandin Audit*

V

VMU *Vector Magnitude Units*

VO *Verordnung*

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Definition relevanter Parameter der Herzfrequenzvariabilität-Zeitbereichsanalyse (VON BORELL et al., 2007)	25
Tabelle 2: Hypothesenschema und statistische Methodik.....	48
Tabelle 3: Benennung der Variablen des Baevsky Stress-Index	71
Tabelle 4: Mittlere Herzfrequenz (HR) über die 4 Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung).....	83
Tabelle 5: Mittelwert der RR-Intervalle über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung).....	85
Tabelle 6: SDNN über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)	87
Tabelle 7: RMSSD über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)	89
Tabelle 8: LF/HF Ratio über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)	90
Tabelle 9: Herzparameter (MW \pm SD) und statistische Informationen bei kurzem und langem Transport in Abschnitt 1 (Verladung)	93
Tabelle 10: Herzparameter (MW \pm SD) und statistische Informationen bei kurzem und langem Transport in Abschnitt 2 (ersten 10 bis 50 min des Transportes)	94
Tabelle 11: Herzparameter (MW \pm SD) und statistische Informationen bei kurzem und langem Transport in Abschnitt 3 (Entladung/Zutrieb)	95
Tabelle 12: Herzparameter (MW \pm SD) und statistische Informationen bei kurzem und langem Transport in Abschnitt 4 (Betäubung/ Entblutung).....	97
Tabelle 13: EKG Amplitude über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung) ...	98
Tabelle 14: Atemfrequenz über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)...	101
Tabelle 15: Körpertemperatur über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)	103

Tabelle 16: Körperlage (Posture) über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)	105
Tabelle 17: Posture nach post hoc Test für die Interaktionen (Gruppe:Abschnitte) (* zeigt die Signifikanz an)	106
Tabelle 18: Aktivität (Activity) über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)	108
Tabelle 19: Activity nach post hoc Test für die Interaktionen (Gruppe:Abschnitte) (* zeigt die Signifikanz an)	109
Tabelle 20: Schritte (Walk Steps) über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)	111
Tabelle 21: Stolper-Index über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)	113
Tabelle 22: %-Auswertung der Abweichungen beim TGA (Temple Grandin Audit).....	116
Tabelle 23: pH-Werte nach der Schlachtung	119
Tabelle 24: Ergebnisübersicht zu den Arbeitshypothesen H1, H2 und H3.....	121
Tabelle 25: Ergebnisübersicht zu der Arbeitshypothese H1A „Blackbox“	122
Tabelle 26: Ergebnisübersicht der TGA Abweichungen der Vital- und Leitparameterkombination	123
Tabelle 27: Übersicht der Hypothesen	127
Tabelle 28: Kreuztabelle der Vital- und Leitparameter-Kombinationen aufgeteilt in die Abschnitte 1-4.....	157

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Elektrophysiologie des Herzens (adaptiert von MALMIVUO & PLONSEY, 1995 bei TARVAINEN et al., 2018)	23
Abbildung 2: Charakteristischer pH-Wert Verlauf bei Pale, Soft, Exudative (PSE) und Dark, Firm, Dry (DFD) Fleisch (RIMBACH et al., 2010)	34
Abbildung 3: Merkmale der Tiere (Schlachtgewicht in kg (in rot), Altersangabe in Tagen (in grün), Transportdauer in Minuten (in grau) und Rasse (FL: Fleckvieh; XFF: Kreuzung; CHA: Charolais)), die im Kurz- und Langtransport untersucht wurden.	51
Abbildung 4: Übersicht der Transportentfernungen für kurzen und langen Transport.	52
Abbildung 5: Versuchsdesign und Zeitachse für die Untersuchungen.....	53
Abbildung 6: 2-Wege der CSV (comma separated values) Rohdatenverarbeitung	57
Abbildung 7: Winkel-Verschiebung des Körpers beim Menschen in Grad auf der vertikalen Achse (MEDTRONIC, 2017)	61
Abbildung 8: Postmortale Durchführung des Temple Grandin Audit (TGA) anhand von Vitalparametern des Zephyr Bioharness 3	63
Abbildung 9: Analyse, Bewertung und deskriptive Statistik des TGA (Temple Grandin Audit)	64
Abbildung 10: Informationen zum 1. Abschnitt (Sample) (Kubios HRV Analysis Software 3.1)	69
Abbildung 11: Ausgewählter Abschnitt (Sample) der RR-Intervalle (Kubios HRV Analysis Software 3.1).....	69
Abbildung 12: Ergebnis-Darstellung im Zeitbereich (Kubios HRV Analysis Software 3.1)	70
Abbildung 13: Ergebnis-Darstellung im Frequenzbereich (Kubios HRV Analysis Software 3.1)	71
Abbildung 14: Nichtlineare Ergebnisdarstellung (Kubios HRV Analysis Software 3.1) ..	72

Abbildung 15: Poincare Darstellung und Anti-Trend-Schwankungsanalyse (DFA) (Kubios HRV Analysis Software 3.1).....	72
Abbildung 16: Ergebnisdarstellung im Zeitbereich für die gesamten Abschnitte 1-4 (Sample 1-4) (Kubios HRV Analysis Software 3.1)	74
Abbildung 17: Darstellung der Indizes PNS und SNS (Kubios HRV Analysis Software 3.1)	75
Abbildung 18: Informationen zur Messung mit Details zu Artefakten (Kubios HRV Analysis Software 3.1).....	76
Abbildung 19: Statistische Verfahren	80
Abbildung 20: Mittlere Herzfrequenz (bpm) über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.....	84
Abbildung 21: Mittelwerte der RR-Intervalle (ms) über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.....	86
Abbildung 22: SDNN (ms) über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.	87
Abbildung 23: RMSSD (ms) über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.	90

Abbildung 24: LF/HF Ratio über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.	91
Abbildung 25: Boxplot der EKG Amplitude (mV) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport.....	99
Abbildung 26: Liniendiagramm (Mittelwerte/Standardfehler) der EKG Amplitude (mV) über die 4 Abschnitte und unterteilt in kurzen und langen Transport	100
Abbildung 27: Boxplot der Atemfrequenz (Züge/min) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Entfernung). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.	101
Abbildung 28: Boxplot der Körpertemperatur (°C) über die 4 Abschnitte und unterteilt in kurzen und langen Transport (Dauer). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte. ..	104
Abbildung 29: Liniendiagramm (Mittelwerte/Standardfehler) der Körpertemperatur (°C) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Entfernung).....	104
Abbildung 30: Boxplot der Körperlage (°) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Entfernung). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.	106
Abbildung 31: Liniendiagramm (Mittelwerte/Standardfehler) der Körperlage (°) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Dauer).....	107

Abbildung 32: Boxplot der Aktivität (VMU) über die 4 Abschnitte und unterteilt in kurzen und langen Transport (Entfernung). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte. ..	108
Abbildung 33: Liniendiagramm (Mittelwerte/Standardfehler) der Aktivität (VMU) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Entfernung).	110
Abbildung 34: Boxplot der Schritte (walk steps) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Dauer). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.	112
Abbildung 35: Boxplot der Stolper-Indexe (Grad) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Dauer). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.	114
Abbildung 36: Kreisdiagramm der Vital- und Leitparameter-Kombination zur Bewertung und Analyse im Rahmen des Temple Grandin Audits (TGA). Leitparameter: LP1=Betäubungsdurchführung, LP2=Bewusstlosigkeit auf der Entblutestrecke, LP3=Fallen der Tiere, LP4=Vokalisation, LP5=Einsatz der E-Treibhilfe, LP7=Wasserversorgung,	117
Abbildung 37: Boxplot der pH-Werte, gemessen im Longissimus thoracis et lumborum 1 Std. (pH ₁ =grau) und 24 Std. (pH ₂₄ =weiss) post mortem im Kurzstreckentransport (n=10) und Langstreckentransport (n=5). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt.....	119
Abbildung 38: Stichprobenabschätzung anhand des Beta-Fehlers.....	156
Abbildung 39: Zwei Rinder mit Zephyr BioHarness 3 im Zutrieb zur Betäubungsfalle	160

I. EINLEITUNG

Problemstellung und Motivation der Arbeit

Der Schutz von Tieren im Allgemeinen und von Nutztieren im Speziellen, rückt aus verschiedenen Gründen immer mehr in den Fokus von Konsumenten und Produzenten. Zum einen sind, vor allem für aufgeklärte Konsumenten (von Fleisch), beides elementare Bestandteile bei Kaufentscheidungen. Zwar sind Konsumenten generell preissensibel, allerdings greift eine Generalisierung zu kurz; der Anteil aufgeklärter Konsumenten und damit die Zahlungsbereitschaft für mehr Tierwohl nimmt stetig zu (FRECKMANN, 2020). Zum anderen sind Tierschutz und Wohlbefinden von Nutztieren in der Fleischproduktion grundsätzliche Voraussetzung für eine hohe Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2021) und somit auch für Produzenten ein wichtiges Entscheidungskriterium in der Gestaltung und Umsetzung von Prozessen.

Vorangetrieben wird die beschriebene Entwicklung u.a. durch Aktionen verschiedener Tierschutzorganisationen in der Öffentlichkeit u.a. im Internet. Speziell durch „Social Media“¹ wird die Wahrnehmung von Konsumenten geschärft. Damit baut sich zunehmend Druck auf alle am Prozess beteiligten Akteure sowie die Politik in Ihrer Rolle als Regulierer auf. Diese Situation bildet schließlich die Grundlage für ein schnelleres Umdenken bei Regulierern, Produzenten und Konsumenten und damit ultimativ für künftige Veränderungen (GAßNER, 2014) im Prozess der Fleischerzeugung im Sinne eines gesteigerten Tierschutzes.

Denn: „Tierwohl ist zunehmend ein Anliegen der Gesellschaft.“ Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) hat in Zusammenarbeit mit Zivilgesellschaft, Politik und Wirtschaft eine Initiative gestartet: „Eine Frage der Haltung. Neue Wege für mehr Tierwohl“ (BLE, 2020).

¹ Von Tierschutzorganisationen veröffentlichte Informationen auf Social Media grenzen sich von ungeprüften Meinungen einfacher Nutzer ab.

Grundsätzlich ist der Tierschutz bei Haltung, Transport und Schlachtung gesetzlich geregelt und wird zum Beispiel durch die Verordnung der Europäischen Gemeinschaft (VO (EG)) Nr. 882/2004 vollstreckt. Sie schreibt die Überprüfung der Schlachtbetriebe durch amtliches Personal vor, welches neben der Fleischhygiene auch die Tiergesundheit und den Tierschutz überwacht.

Gesellschaftliche Veränderungen und wechselnde urbane Voraussetzungen haben das Wesen der Lebensmittelindustrie beeinflusst. Die Gesellschaft ist von der Lebensmittelezeugung inzwischen weitestgehend entkoppelt. So schlachten Fleischer in den wenigsten Fällen noch ihre eigenen, im Sinne von aufgezogenen/gezüchteten Tiere. Sie sind auf qualifizierte Zulieferer angewiesen, die sowohl die Schlachtung als auch den ersten Teil der Fleischreifung übernehmen. Für nachgelagerten Produktionsgruppen, wie Fleischer ist die Fleischqualität von entscheidender Bedeutung, da sie sich, wie bereits beschrieben, unmittelbar auf die Verkaufsfähigkeit des Produktes auswirkt.

Zielsetzung der Arbeit

Vor dem Hintergrund der Verkaufsfähigkeit des Produktes durch das Fleischerhandwerk aber auch um dem Wunsch von Konsumenten und Umweltschutzorganisationen nach einem gesteigerten Tierschutzniveau nachzukommen, ist die abschnittsübergreifende Untersuchung des Umganges in Bezug auf stressbezogenes Verhalten von Nutztieren bei Transport und Schlachtung sinnvoll, da sie mögliche Rückschlüsse und Maßnahmen zulassen, um potentielle Verbesserungen der beteiligten Prozesse kontrolliert umzusetzen.

Daher ist das Ziel dieser Untersuchung die Machbarkeit, ob ein für die Anwendung beim Menschen konstruierter Biosensor über 4 Abschnitte (samples: 1- Beladung, 2- Transport, 3- Entladung/Zutrieb und 4- Betäubung/Entblutung) verfügbare biophysikalische Vitalfunktionen von Rindern aufzeichnet.

Es gibt für Rinder zum Zeitpunkt der Messungen keine kombinierten Sensorsysteme, die verschiedene Parameter in sich vereinigen und so konnte man bisher nur sehr aufwändig Daten gewinnen. Wäre also die Nutzung eines bestehenden und funktionierenden

Systems der Datenaufzeichnung möglich, das zudem mit überschaubaren Kosten verbunden wäre, würde dies einen Mehrwert für die Überwachung des Produktionsprozesses bedeuten. Weiter wird dabei versucht, jedem Leitparameter (LP) des Temple Grandin Audits (TGA) im Rahmen der Analyse und Auswertung festgelegte Vitalparameter zuzuordnen.

Durch die Beurteilung des Tierschutzniveaus anhand der LPs und Messung der Indikatoren wird das Ziel verfolgt zu prüfen, ob es a) überhaupt möglich ist und b) wie es mit überschaubarem Aufwand gelingen kann, eine automatisierte und zuverlässige Erfassung der Vitalparameter durchzuführen. Schließlich ist die kostengünstige Erfassung des status quo durch Monitoring, der Ausgangspunkt für die Planung und Umsetzung weiterer Maßnahmen durch den Regulierer. Da neben dem Wunsch von Konsumenten das Tierschutzniveaus zu steigern, eine direkte Folge hieraus auch die Steigerung der Fleischqualität sein könnte, profitieren dadurch auch die Anbieter solcher Produkte.

Aufbau der Arbeit

Zur Untersuchung der automatisierten Erfassung und Monitoring von Vitalparametern bei weiblichen Rindern im Rahmen der Ziele, gliedert sich die vorliegende Arbeit in V Teile.

Dabei beschäftigt sich der Teil I zunächst mit den Grundlagen zum Thema Stress bei Nutztieren mit der Unterteilung in physiologische, Verhaltens- und psychologische Parameter und dem Stress als Einflussfaktor auf die Fleischqualität. Im Folgenden gibt es einen Überblick über Rinder als ökonomische Nutztier rasse und die rechtlichen Rahmenbedingungen bei Transport und Schlachtung. In Bezug darauf werden auch die Leitparameter von Temple Grandin erörtert.

In Teil II der Arbeit werden die untersuchten Rinder und der Untersuchungsaufbau, die Erfassung sowie der Export und die Verarbeitung von Daten dargelegt. Weiterhin werden die zu untersuchenden Parameter beschrieben.

In Teil III werden die Ergebnisse der empirischen Untersuchung zu den Parametern, das Temple Grandin Audit (TGA) und der Fleischqualitätsparameter pH aufgeführt.

Der Teil IV umfasst die Diskussion und der Teil V die Konklusion.

I. GRUNDLAGEN ZUR BEURTEILUNG DES TRANSPORTES UND DER SCHLACHTUNG VON RINDERN

2. Stress bei Nutztieren

Da das Stressgeschehen in der Verhaltensphysiologie von Nutztieren eine entscheidende Rolle spielt, ist es auch elementarer Bewertungspunkt der heutigen Tierwohluntersuchungen und wird im Folgenden genauer betrachtet. Stress ist definiert als spezifisches-individuelles Reaktionsmuster eines Organismus auf umweltassoziierte Stimuli, die zur Störung des physiologischen Gleichgewichts führen (KAUFMANN & THUN, 1998; PALME & MÖSTL, 2002; RÜTZ, 2010; CARROLL & BURDICK-SANCHEZ, 2013). Grundsätzlich können diese Stressoren psychischer, chemischer und physischer Art sein (NIEDERHÖFER, 2009; BURDICK, 2001). Die Intensität der Stressreaktion wird durch die individuelle Wahrnehmung und die Art des Stressors bestimmt (FIEGUTH, 2013; PALME, 2012). Drei Schlüsselkomponenten definieren die Stressreaktion (MOBERG, 1985): Das Erkennen eines Stressors, die biologische Abwehr und die Langzeitfolgen der Abwehrreaktion. Diese Langzeitfolgen haben die höchste Relevanz zur Bestimmung des Wohlbefindens. Nicht alle externen Reize sind störend oder gefährlich, weshalb in positive und negative Stressoren unterschieden wird (DANTZER, 1993; RUSHEN, 2008; PALME, 2012). Stress lässt sich daher in zwei verschiedene Arten gliedern, den Distress, der die Anpassungsfähigkeit mindert und zu einer Reduktion der Abwehrmechanismen führt und den Eustress, der sich positiv auf ein Individuum auswirkt und die Anpassungsfähigkeit erhöht (DANTZER, 1993). Stress kann auf zwei Arten das Immunsystem aktivieren. Akuter und nur für eine kurze Zeitspanne auftretender Stress wirkt immunstimulierend, während wiederholter und über einen langen Zeitraum anhaltenden Stress chronisch und damit immunsuppressiv sein kann (CARROLL et al., 2013).

Die Rezeptoren (Sinneszellen) und das Gehirn haben die zentrale Aufgabe der Koordination der Stressantwort. Solche Antworten können Verhaltensänderungen, Reaktionen

des Immunsystems und Aktivierung des neuroendokrinen Systems (Hypothalamus–Hypophyse–Nebennierenrinde) sowie des autonomen Nervensystems sein (DANTZER, 1993; RUSHEN, 2008; PALME, 2012). Dieses autonome Nervensystem wird in das sympathoneuronale (SNS) und das sympathoadrenomedulläre System (SAS) unterteilt (CANNON, 1914). Es definiert eine kurzfristige Stressreaktion und wird „Fight or Flight Syndrom“ genannt, welches z.B. beim Rind zur Ausschüttung von Adrenalin führt. Die Steigerung des Blutdruckes und der Herzfrequenz ermöglichen eine Stressantwort in Form von Kampf oder Flucht (VON BORELL, 2000; NIEDERHÖFER, 2009; CANNON, 1914; BURDICK, 2011). Angeborene und erworbene Fähigkeiten eines Individuums in Verbindung mit Erfahrungen und Eigenschaften des Stressors steuern die spezifische Stressreaktion (JENSEN et al., 1996). Auch Handling, Bedrängung und Konfrontation mit Unbekanntem können Stress als unspezifische Reaktion eines Körpers auslösen (RÜTZ, 2010). Färsen und Kühe, die an den regelmäßigen Umgang mit Menschen gewöhnt sind, zeigen während einer Behandlung niedrigere Stressantworten und ein ruhigeres Verhalten (BOISSY & BOUISSOU, 1988; WAIBLINGER, 2004).

Insbesondere vor dem Hintergrund des „animal welfare“ wächst das Interesse der Öffentlichkeit in Bezug auf die Stressforschung bei Nutztieren (MOBERG & MENCH, 2000; EFSA, 2009). Die Weltorganisation für Tiergesundheit (engl. World Organisation for animal health, OIE) definiert „animal welfare“ als die Art und Weise, wie ein Tier die Umstände und Bedingungen, unter denen es lebt, bewältigt (OIE, 2013). Das Maß an Stress dient als Indikator für Tierwohl und ist somit wichtig für die Unterscheidung zwischen der Reaktion selbst und den biologischen Folgen (z.B. Fleischqualität). Neben der etablierten Verhaltensanalyse können auch physiologische Faktoren, wie biochemische Blutparameter, die Messung der Herzfrequenz oder bioakustische Parameter genutzt werden, um Stress zu analysieren (MOHR et al., 2002).

2.1. Physiologische Parameter

2.1.1. Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität

Die physiologische Herzfrequenz (engl. heart rate, HR) kann als biophysikalischer, nicht invasiver und objektiver Parameter zur Stressermittlung dargestellt werden (LICHT, 2000). Die Herzfrequenz ist definiert als die Anzahl der Herzschläge pro Minute. Die Herzfrequenz wird durch die optimale Balance und das Zusammenspiel von frequenzsteigerndem Sympathikus und frequenzminderndem Parasympathikus permanent den externen Umweltbedingungen und den internen Anforderungen des Organismus angepasst (HAINSWORTH, 1995). Eine entscheidende Rolle in der kardiovaskulären Regulation spielen das zentrale Nervensystem, die Formatio reticularis der Medulla oblongata, der Hypothalamus und verschiedene neocorticale Bereiche (ANDREASSI, 1980). Aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit des Herzens entsteht bei Ausbreitung und Rückbildung der Erregung ein elektrisches Feld, welches bis zur Körperoberfläche nachzuweisen ist (WITTE, 2001).

Die Elektrophysiologie des Herzens (Abb. 1), die mit einem Elektrokardiogramm (EKG, engl. ECG) gemessen werden kann, wird unterteilt in die P-Welle, PQ-Strecke, den QRS-Komplex, die ST-Strecke und die T-Welle. Die P-Welle beginnt durch Depolarisation der Muskelzellen, ausgehend vom Sinusknoten, in den Vorhöfen und endet in der Vorhofkontraktion. Der QRS-Komplex kommt durch die Erregungsausbreitung im Ventrikelseptum zustande und endet mit der Repolarisation der Systole, sodass die ST-Strecke auf der Nulllinie verläuft (TARVAINEN et al., 2019).

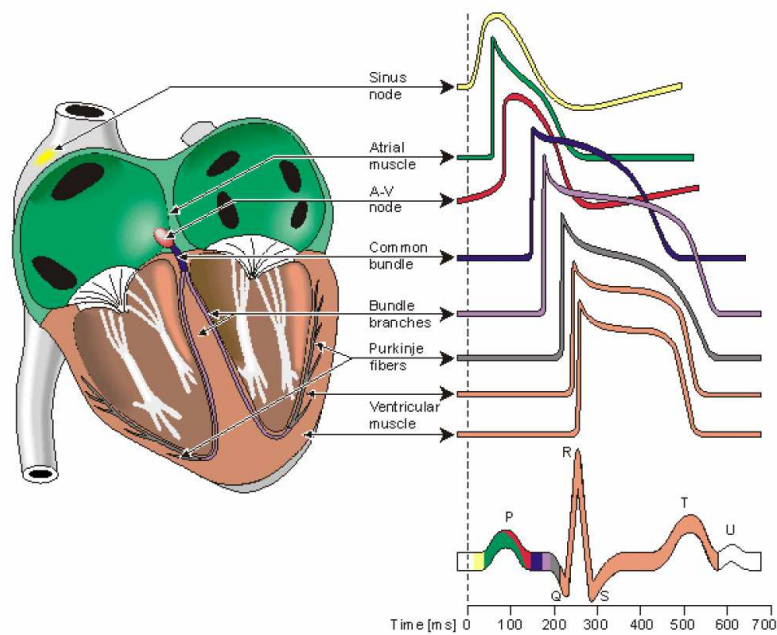


Abbildung 1: Elektrophysiologie des Herzens (adaptiert von MALMIVUO & PLONSEY, 1995 bei TARVAINEN et al., 2018)

Die HRV stellt einen weiteren Indikator der Stressforschung im Nutztierbereich dar. Sie beschreibt die Veränderungen des Abstandes zwischen zwei aufeinander folgenden Herzschlägen (VON BORELL et al., 2007). Eine gesunde Herzfunktion ist gekennzeichnet durch unterschiedliche Zeitintervalle zwischen den aufeinanderfolgenden Herzschlägen. Je variabler die Herzfrequenz ist, desto gesünder ist der Organismus (WITTE, 2001; MOHR & LANGBEIN, 2002; VON BORELL et al., 2007). Diese Intervalle werden auch RR-Intervalle genannt und beschreiben die Abstände zwischen aufeinanderfolgenden R-Zacken im QRS Komplex einer EKG Aufnahme (MOHR & LANGBEIN, 2002; VON BORELL et al., 2007). Steigen die Anforderungen an den Organismus, so vermindert sich die HRV infolge der Wirkung des Sympathikus, während der Parasympathikus im Zustand von Ruhe und Erholung eine Erhöhung der HRV verursacht (TOBER et al., 2014). Die HRV gilt somit als Maß für die autonome Anpassungsfähigkeit und die neurovegetative Aktivität des Herzens und verdeutlicht Zusammenhänge zwischen dem vegetativen Nervensystem und der Herzfrequenz (NIEDERHÖFER, 2009). Sie kann deshalb als Maßstab für die

Anpassungsfähigkeit eines Organismus an innere und äußere Belastungsfaktoren angesehen werden (TOBER et al., 2014). Die Herzfrequenzvariabilität wurde erstmals im 18. Jahrhundert mit quantitativen Messungen von arteriellem Blutdruck beschrieben. Aus einem Elektrokardiogramm lassen sich später die RR-Abstände detektieren oder sofort filtern (RADEISEN, 2020). Eine exakte Aufzeichnung des EKGs ist von großer Bedeutung, um verwertbare Aussagen über die Ergebnisse der HRV-Analyse zu erhalten (NIEDERHÖFER, 2009). In verschiedenen Studien der letzten Jahre werden meistens wenig invasive tragbare Geräte (zum Beispiel der Firmen Polar (Polar Elektro OY, FI), Televet 100 (Engel Engineering GmbH, Heusenstamm, DE) und Zephyr (BioHarness 3, Zephyr Technology, Annapolis, USA)) verwendet, um das natürliche Verhalten nicht oder nur wenig zu beeinflussen, da ansonsten erworbene Ergebnisse wenig aussagekräftig sind und zu Fehlinterpretationen führen können (MOHR et al., 2002; MARCHANT-FORDE et al., 2004; RADEISEN, 2020). Diese Sensormodule registrieren die R-Peaks eines EKGs und speichern die RR-Intervalle zur nachgelagerten Analyse (VON BORELL et al., 2007). Dabei werden die unterschiedlichen Parameter in der Analyse in verschiedene Kategorien (Zeitbereich, Frequenzbereich, nichtlineare und zeitvariable Kategorie) unterteilt (TARVAINEN et al., 2018). Für weitere Informationen zu diesem Thema, siehe auch Seite 68 in dieser Arbeit.

Die Zeitbereichsanalyse beinhaltet folgende Parameter (vgl. Tabelle 1): Den Mittelwert der Herzfrequenz, den Mittelwert der RR-Intervalle, sowie die Standardabweichung der RR-Intervalle, auch SDNN genannt und den RMSSD (VON BORELL et al., 2007). Die SDNN wird aus der Wurzel der Varianzen berechnet und gilt als Maß für die Gesamtvariabilität während der Aufnahmezeit. Sie unterliegt sowohl sympathischen als auch parasympathischen Einflüssen. Der RMSSD hingegen wird aus der Quadratwurzel der gemittelten Quadrate der Differenzen nachfolgender RR-Intervalle bestimmt und zur Analyse der vagalen Aktivität benutzt, die durch hochfrequente Schlag-zu-Schlag Variationen dargestellt wird (VON BORELL et al., 2007; NIEDERHÖFER, 2009; SUTHERLAND et al., 2012).

Tabelle 1: Definition relevanter Parameter der Herzfrequenzvariabilität-Zeitbereichsanalyse (VON BORELL et al., 2007)

Parameter	Einheit	Definition
HR	bpm	Herzfrequenz angegeben in Schlägen pro Minute
RR	ms	Abstand zweier R-Zacken im EKG
SDNN	ms	Standardabweichung der RR-Intervalle einer Aufnahmeperiode
RMSSD	ms	Quadratwurzel aus den quadrierten Mittelwerten der Summe aller Differenzen aufeinander folgender RR-Intervalle

bpm: Schläge pro Minute; ms: Millisekunde; EKG: Elektrokardiogram

Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität bei Nutztieren

Die Messung der Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität bei Nutztieren ist in der Literatur mehrfach beschrieben. JANZEKOVIC et al., 2010 konnten in ihrer Studie nachweisen, dass Herzfrequenzmesser aus der Humanmedizin geeignet sind, um tierische Signale zu erfassen.

Tragbare Messgeräte, zum Beispiel der Firmen Polar (Polar Elektro OY, FI), Televet 100 (Engel Engineering GmbH, Heusenstamm, DE) und Zephyr (BioHarness 3, Zephyr Technology, Annapolis, USA) kamen unter anderem bei Pferden (VON BORELL et al., 2007), bei Schweinen (RADEISEN, 2020) und bei Ziegen (ASCHWANDEN et al., 2008) zum Einsatz, so dass die Technik auch bei Rindern als geeignet erscheint (JANZEKOVIC et al., 2010). In seiner Arbeit über die Messung der Herzfrequenz bei Rindern liegt die physiologische Herzfrequenz je nach Alter, Leistung, Witterung und sonstiger Faktoren bei 50-80 Schläge pro Minute (engl. beats per minute, bpm) (JANZEKOVIC et al., 2010; BUCK et al., 2012).

Untersuchungen von Belastungszuständen bei Milchrindern und Kälbern mit Hilfe verschiedener Parameter der HRV haben verdeutlicht, dass die Anwendung auch beim Rind

als telemetrisches Verfahren geeignet ist (MOHR & LANGBEIN, 2002; TOBER et al., 2014).

Um die Verwendung der HRV-Parameter zu vereinheitlichen, wurden durch die Task Force der European Society of Cardiology verbindliche Empfehlungen für die Analyse der HRV gegeben (TASK-FORCE, 1996). Die Empfehlungen beziehen sich in ihrer Anwendung und Interpretation auf humanmedizinische Bereiche, werden aber zunehmend auch im Zusammenhang mit Tieren angewendet (NIEDERHÖFER, 2009).

In den letzten Jahren wurde die Messung der HRV in Bezug auf die autonome Regulation des Herzens bei verschiedenen Tierarten erfolgreich durchgeführt. Trainingszustand, Wohlbefinden und Stress wurden erfasst und analysiert (VON BORELL et al., 2007; NIEDERHÖFER, 2009). Bei Rindern fand die Beurteilung der HRV bisher vor allem Anwendung in der Analyse verschiedener Maßnahmen im Herdenmanagement oder in Melk-systemen (HOPSTER et al., 2002; WEISS et al., 2004; HAGEN et al., 2005).

2.1.2. Atemfrequenz

Die Atemfrequenz ist definiert als Anzahl der Atemzüge pro Minute. Sie ist u.a. abhängig von der Intensität des Stoffwechsels und der Größe des Tieres. Das Atemzentrum in der Medulla oblongata steuert die Atemtätigkeit über den Hirnstamm, wobei die Kontraktion der Interkostalmuskulatur und des Zwerchfells den Brustkorb hebt und die Lunge passiv durch ihre Elastizität und den Unterdruck im Brustkorb für das Zusammenziehen verantwortlich ist (LOEFFLER, 2002). In einer Untersuchung mit Rindern konnte gezeigt werden, dass es mittels neu entwickeltem Atemsensor möglich ist, die Hitzestressbelastung von Milchkühen zu beurteilen (HOFFMANN et al., 2020). Die physiologische Atemfrequenz adulter Rinder liegt zwischen 10 und 30 Atemzügen pro Minute (BAUMGARTNER, 2009; LOEFFLER, 2002). Bei körperlicher Anstrengung oder einer erregungsbedingten Erhöhung der Atemfrequenz >40 Atemzügen pro Minute, spricht man von einer beschleunigten Atemtätigkeit, die durchaus als Stressindikator dienen kann (STÖBER et al., 2012).

2.1.3. Körpertemperatur

Durch psychische Belastung des Organismus wird über die Aktivierung des vegetativen Nervensystems Energie bereitgestellt. Für eine Flucht vor möglichen Stressoren wird so kurzfristig Energie erzeugt, um den Muskeltonus zu erhöhen. Die Folge ist eine Steigerung der Körpertemperatur (MARAHERNS, 1994). Eine Messung der Körpertemperatur bei Nutztieren ist auf verschiedene Arten möglich, so kann mittels herkömmlicher Thermometer die Temperatur im Rektum oder der Vagina ermittelt werden. Auch Infrarotmesstechnik kann zum Einsatz kommen, um berührungslos lokale Entzündungsherde aufzuspüren. Sensoren auf der Hautoberfläche oder Sensorimplantationen liefern ebenfalls die Körpertemperatur zur Ermittlung weiterer Befunddaten (AUERNHAMMER, 1995). Die Körpertemperatur von Rindern ist neben dem Lebensalter von unterschiedlichen endo- und exogenen Faktoren abhängig. Sie kann sich durch Bewegung und psychische Erregung rasch erhöhen (AUERNHAMMER, 1995). Die physiologische Körpertemperatur von adulten Rindern schwankt zwischen 37,5 und 39,5°C. Dabei sind die physiologischen Werte Tagesschwankungen von 0,5-1°C unterworfen, unabhängig davon, ob ein Tier gesund oder krank ist. Das Schwankungsminimum liegt am Morgen um ca. 6.00 Uhr und das Schwankungsmaximum am Abend um ca. 18.00 Uhr (LYHS, 1971; AUERNHAMMER, 1995; CALEGARI & FRAZZI, 2002; BAUMGARTNER, 2009; VICKERS et al., 2010). Für die optimale Messung und spätere Beurteilung der Körpertemperatur sollte die Temperatur der Tiere im Ruhezustand gemessen werden (LOEFFLER, 2002).

2.1.4. Endokrine Reaktion

Das endokrine System, welches auch hormonelles System genannt wird, ist für die Steuerung der Körperfunktionen verantwortlich.

Zur Bestimmung der Stressbelastung am Tier eignet sich die Analyse der Plasmakonzentration an Glukokortikoiden, um die Wirkung eines Stressors zu bewerten. Im Blut sind Glukokortikoide zu 90 % an Proteine (Transcortin, Albumin) gebunden und nur 10 % zirkulieren frei in der Blutbahn (GEISCHEDER, 2017; CARROL & BURDICK-SANCHEZ, 2013).

Diese Proteinbindung ermöglicht eine Pufferung des Kortisolspiegels im Blut und verhindert eine Inaktivierung der Steroide. Die Inaktivierung und der Abbau der Glukokortikoiden erfolgt enzymatisch vor allem in der Leber, der Niere und der Speicheldrüse. Durch eine Metabolisierung wird die Wasserlöslichkeit der Kortikosteriode erhöht, die über Harn und Kot ausgeschieden werden. Freies Kortisol kann aufgrund seiner hohen Lipidlöslichkeit in Speichel und Milch nachgewiesen werden (GEISCHEDER, 2017; CARROL & BURDICK-SANCHEZ, 2013). Kortisol unterstützt auch die primären Abwehrreaktionen „Fight or Flight“ gegen einen Stressor durch Erhöhung der Synthese und Freisetzung von Katecholaminen, wie Adrenalin und Noradrenalin (CARROLL & BURDICK-SANCHEZ, 2013). Untersuchungen von MAYER (2005) bei Schweinen mit einem Porcinen Appeasing Pheromone ergaben nach dem Transport einen signifikant niedrigeren Kortisolspiegel im Speichel als bei der Kontrollgruppe, was auf eine verbesserte Bewältigung des Transportstresses hindeutet. Bei Rindern kann beim Enthornen oder während des Transportes die Kortisolkonzentration im Plasma ansteigen und dann über den Zeitraum von ca. 60 min wieder auf den Basalwert zurückkehren (RUSHEN et al., 2008). In diesem Zusammenhang wäre eine Untersuchung interessant, bei der die gemessene Kortisolkonzentration ins Verhältnis zu den erfassten biophysikalischen Vitalparametern gesetzt würde. Allerdings wäre in diesem Fall ein besonders tierschonendes Beprobungsverfahren notwendig, da die Entnahme von Speichel oder Blut zwangsläufig in Verbindung mit dem aufkommenden Stress die Datenlage beeinflussen würde.

Ergänzend zu den physiologischen Parametern können Verhaltensparameter aufgegriffen werden, um ein umfassenderes Bild der Interaktion unterschiedlicher Einflüsse zu erfassen.

2.2. Verhaltensparameter

2.2.1. Verhaltensdarstellung

Aus Angst vor beispielsweise Fressfeinden haben Tiere Mechanismen entwickelt, um sich geräuschlos durch Verhalten zu artikulieren. Diese Art der Körpersprache kann unter anderem durch Bewegungsaktivität, Position des Körpers (z.B. liegend, stehend), Ak-

tivität (z.B. fressen, riechen, montieren, kämpfen) und Bewegung der Extremitäten erfolgen (BOISSY & BOUISSOU, 1988). In der Wissenschaft gibt es standardisierte Verfahren, mit denen dieses Verhalten vergleichbar untersucht werden kann, um ein tierartsspezifisches Ethogramm zu erstellen. Eine Art der Dokumentation ist die direkte Beobachtung und Videoaufzeichnung, die durch die Verwendung von Algorithmen weitgehend automatisiert ablaufen kann. Zur objektiveren Analyse werden weitere Hilfsmittel, wie zum Beispiel Pedometer (Schrittzähler) oder 3D-Beschleunigungssensoren eingesetzt. Auch bei Rindern eignet sich das Verhalten in Form von Bewegung zur Beurteilung der individuellen Stresssensibilität (PETHERICK et al., 2009; SUTHERLAND et al., 2012). In diesem Zusammenhang gewinnt die Selektion von Fleischrindern in Form der Handhabungssicherheit für den Menschen an Bedeutung (FELL et al., 1999; KILGOUR et al., 2006).

2.2.2. Vokalisationen

Die Lauteigenschaften bei den lautgebenden Spezies können anhand von speziellen Parametern oder auf Grund der Verhaltensweisen differenziert und kategorisiert werden. Ein Laut tritt selten als Einzellaut auf, sondern ist vielmehr eine Abfolge von Lautereignissen mit spezieller Bedeutung (DÜPJAN, 2008). In einigen Forschungsarbeiten konzentrieren sich die Autoren auf wenige wichtige Lauttypen z. B. beim Hausschwein. Dabei definieren sie verschiedene Lauttypen unter Bedingungen der Kastration und standardisierten Bedingungen des Open Field Tests (VON BORELL et al., 2009; DÜPJAN, 2008). Eine erste Kategorisierung der Laute wurde anhand der visuellen Darstellung im Spektrogramm durchgeführt. Dabei wurden Kriterien, wie z. B. niedrige/mittlere/hohe Energie im Laut und die Tonalität eingesetzt. Diese definierten Lauttypen wurden später zur automatisierten Klassifikation der Laute genutzt (VON BORELL et al., 2009; DÜPJAN, 2008).

Durch die zunehmende Forderung, das Wohlergehen der Tiere in den Mittelpunkt zu bringen, hat in der Vergangenheit ein Autor die Vokalisation der Rinder in den Fokus gestellt, da das vokale Verhalten als ein potenziell nützlicher Indikator des physiologischen und psychologischen Zustandes verstanden werden kann (HÄMEL, 2009). Es hat

sich gezeigt, dass Kühe und Kälber bei einer örtlichen Trennung vokalisieren, was zu einer Veränderung der Herzfrequenz geführt hat und gleichzeitig mit einer Milchdeprivation bei der Kuh korrelierte. Dies zeigt, dass vokale Äußerungen Informationen über Grundbedürfnisse enthalten können (HÄMEL, 2009). Auch das Auszählen von Lautäußerungen auf dem Schlachthof kann als Indikator genutzt werden, um das Wohlbefinden der Tiere zu bewerten (GRANDIN, 2001a).

2.2.3. Stress-Tests

Es wurden verschiedene Tests entwickelt, um das Verhalten der Tiere in verschiedenen Stresssituationen zu bewerten (KILGOUR et al., 2006). Dafür wurde mit Hilfe von standardisierten Tests versucht, Temperamentstypisierungen vorzunehmen.

Der „Exit Speed Test“ beispielsweise analysiert das Verhalten der Tiere in beengten Situationen. Es wird die Zeit gemessen, die ein Tier zum Verlassen eines Zwangsstandes benötigt, um dann Rückschlüsse auf das Temperament des Tieres zu ziehen. Außerdem wurde der Exit Speed Test mit der Fleischqualität von Schlachtrindern in Beziehung gesetzt; Mit dem Ergebnis, dass sich unabhängig vom Temperament, die den Umgang mit Menschen gewohnten Rinder schneller auf neue Situationen einstellen und letztlich weniger Stress bei Transport und Schlachtung haben (PETHERICK et al., 2009).

Der Novel Object Test (NOT) und der Open Field Test (OFT) stellen weitere Möglichkeiten der individuellen Analyse dar, wie Tiere in unbekannter Umgebung mit Stressoren umgehen. Beim NOT und Human Approach Test (HAT), werden die Tiere plötzlich mit einem neuen und unbekanntem Gegenstand konfrontiert. Danach wird die Zeit gemessen, die das Tier für die Kontaktaufnahme benötigt. Der „Human Approach“ Test nimmt, ähnlich wie der NOT, eine Temperamentstypisierung vor. Beim OFT wird den Tieren Zugang zu einer unbekanntem Umgebung gewährt und das Erkundungsverhalten analysiert. Bei beiden Tests werden Parameter wie Bewegung, Vokalisation, Kot- und Urinabgabe registriert (LAWRENCE et al., 1991; DESIRE et al., 2004; VAN-REENEN et al., 2004).

2.3. Psychologische Parameter

Seit einigen Jahren steigt das öffentliche Interesse an der Bewertung von Emotionen bei Tieren anhand von messbaren Indikatoren. Positive Gefühlszustände können Krankheiten vorbeugen, weshalb ein Konzept auf wissenschaftlicher Grundlage aus der Humanmedizin für die Beurteilung von Wohlbefinden bei Tieren durch die Messung von Emotionen etabliert wurde (WEILER et al., 2015). Emotionen setzen die Erhebung von verbalen Mitteilungen (Belohnung & Bestrafung), vegetativen Veränderungen (Herzfrequenz, Atemfrequenz, etc.), Gehirnaktivität, sowie Verhalten (Gestik & Mimik) voraus (WEILER et al., 2015). Beim Menschen wird der Gefühlszustand durch kognitive Prozesse beeinflusst, wie auch der Gefühlszustand wechselseitig die kognitiven Prozesse beeinflusst. Das Resultat sind kognitive Verzerrungen, die auch als engl. „cognitive bias“ bezeichnet werden (WEILER et al., 2015); PAUL et al., 2015). Kognitive Verzerrungen lassen sich unterteilen in Urteilsverzerrung (engl. judgement bias), Gedächtnisverzerrung (engl. memory bias) und Aufmerksamkeitsverzerrung (engl. attention bias) (PAUL et al., 2015). In der Humanmedizin geht man davon aus, dass Menschen bei Angstsituationen erhöhte Aufmerksamkeit gegenüber potenziellen Gefahren verspüren und dass der depressive Mensch eher an negative Ereignisse eine Erinnerung hat (WEILER et al., 2015). Bei zweideutigem Stimulus wird der Mensch mit negativem Gefühlszustand den negativen Ausgang einer Situation erwarten, während der Mensch mit positivem Gefühlszustand eine optimistische Beurteilung der Situation zulässt. Obwohl die Grundlagen dieser Erkenntnisse noch nicht ausreichend erforscht sind, geht man davon aus, dass diese Methode auf Tiere übertragbar ist, um negative Emotionen weiter zu differenzieren und damit das Wohlbefinden objektiv messbar zu machen (WEILER et al., 2015). Der erste Urteilsverzerrungs-Test (engl. Judgement Bias Test, JBT) an Tieren wurde von HARDING et al. (2004) mit Ratten durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurde von WEILER et al., 2015 in der Studie über Hunde erforscht, inwieweit diese Erkenntnisse auf andere Tierarten übertragbar sind und welche Auswirkungen sie haben können. Dabei wurde untersucht, ob Tiere durch schlechte Haltungsbedingungen oder besondere Beschäftigung in einen negativen oder positiven emotionalen Zustand versetzt werden können. Später wurden dann die Emotionen mittels eines JBT ermittelt. Das Resultat fiel unterschiedlich aus und vor allem bei der Interpretation der Ergebnisse blieb offen, ob die Veränderung

in beispielweise der Haltungsbedingungen dazu geeignet war, eine entsprechende Emotion zu provozieren. Eindeutige Ergebnisse zeigten sich zum Beispiel bei Kälbern nach der Enthornung, bei denen eine bekannte negative Grundstimmung durch den JBT nachgewiesen worden war (WEILER et al., 2015).

In der vorliegenden Arbeit bestand nun die Herausforderung darin, emotionale Parameter über Indikatoren messbar nachzuweisen und daraus auf negative oder positive Gefühlszustände zu schließen. Durch die äußeren Umstände in der Produktionskette ist es nicht möglich, in der Kürze der Zeit von z.B. Verladung bis Betäubung einen etablierten Wesens- oder Verhaltenstest am Tier durchzuführen. In der Folge können kurzfristige negative Umstände nicht objektiv nachgewiesen werden und machen sich erst durch postmortale Veränderungen der Fleischqualität bemerkbar.

2.4. Stress als Einflussfaktor auf die Fleischqualität

Fleischqualität umfasst die Summe aller sensorischen, ernährungsphysiologischen, hygienischen, toxikologischen und verarbeitungstechnologischen Faktoren des Fleisches (HOFMAN, 1973). Von den postmortalen biochemischen Vorgängen im Fleisch ist die spätere Fleischbeschaffenheit abhängig (AUGUSTINI et al., 1981). In der Skelettmuskulatur laufen auch nach dem Tod noch biochemische Vorgänge ab, allerdings unter anaeroben Bedingungen. Die postmortale Glykolyse, die zur Milchsäurebildung führt, ist elementarer Bestandteil der Fleischreifung und entscheidender Faktor für die Fleischqualität (LOEFFLER, 2002). Diese Säuerung ist erwünscht, da sie Bakterien hemmt und das Fleisch haltbar macht. Außerdem wird das Kollagen des intramuskulären Bindegewebes im Zusammenspiel von Milchsäure und Hitze schneller gelöst, was das Fleisch zarter und leichter verdaulich macht. Die beiden wichtigsten säurebezogenen Abweichungen der Fleischqualität sind pale, soft, exudative (PSE, = blaß, weich, wässrig) - und dark, firm, dry (DFD = dunkel, fest, trocken) (SCHWÄGELE, 1998).

Die primäre Ursache für das Auftreten von PSE-Fleisch ist in der Zucht zu sehen und liegt somit als genetische Komponente vor (SCHWÄGELE, 1998). Angezüchtete Muskelhypertrophie in Verbindung mit einwirkenden Stressoren vor der Schlachtung führen zu einer

Acidose der Skelettmuskulatur (SCHWÄGELE, 1998). Die starke Beanspruchung der Muskulatur führt zu einer Umverteilung der Blutmenge im Körper. In der Folge werden die Versorgungs- und Verdauungsorgane unterversorgt und der Lactatabbau in der Leber vermindert oder sogar gestoppt. Es kommt zu einer Lactatanhäufung im Blut, wodurch sich der Blut-pH (pondus Hydrogenii)-Wert < 7.2 in den sauren Bereich verschiebt mit der Folge einer Acidose (KIRSCH, 1994). Der Anstieg der Laktatkonzentration im Blut ist daher auch als Stressindikator zu sehen. Die Normalwerte bei Rindern liegen zwischen 0.5 und 3.0 mmol/l (BICKHARDT, 1992). Folglich treffen nach der Schlachtung ein niedriger pH-Wert und noch relativ hohe Temperaturen zusammen. In der Folge kommt es zu einer partiellen Denaturierung von Muskelproteinen und zum Aufbrechen von Zellmembranen, so dass Flüssigkeit aus dem Zellinneren austreten kann. PSE-Fleisch hat deshalb auch ein vermindertes Wasserbindevermögen und einen wässrig-leeren Geschmack (SCHWÄGELE, 1998).

DFD-Fleisch entsteht, wenn die in Form von Glykogen im Muskel vorliegenden Energiereserven vor dem Schlachten durch extreme Stresssituationen mit Erschöpfungszuständen bereits verbraucht sind. Nach dem Schlachten wird über die Glykolyse keine oder nur wenig Milchsäure gebildet. Der pH-Wert in der Muskulatur sinkt nur geringfügig ab (SCHWÄGELE, 1998). DFD-Fleisch ist wegen seiner fremdartigen dunklen Farbe, fadem Geschmack und seiner „Leimigkeit“ sensorisch ungewollt. Die Fleischreifung ist ungenügend und die Haltbarkeit aufgrund von ungewünschter Keimvermehrung deutlich reduziert (AUGUSTINI et al., 1981). Von der Qualität des Fleisches hängt in starkem Maße die Qualität der hergestellten Erzeugnisse ab. Für einige Produktgruppen sind niedrige pH-Werte anzustreben, um zum Beispiel die Pökelfähigkeit, die Haltbarkeit und den Geschmack zu optimieren. Für andere Produkte sind hohe pH-Werte vorteilhaft, da Fleischfarbe und Wasserbindevermögen gefördert werden.

Die pH-Wert Messung liefert nicht nur bei rohem Fleisch, sondern auch bei verarbeiteten Produkten wertvolle Anhaltspunkte zur Beurteilung der Qualität und/oder produktbezogener Mängel. Ein normaler pH-Wert-Verlauf gibt dem Produzenten eine gewisse Sicherheit in Bezug auf Ausgangsmaterial, Prozesshygiene und Haltbarkeit (HOFMANN, 1986). In Abbildung 2 sind die angesprochenen pH-Wertverläufe zu sehen.

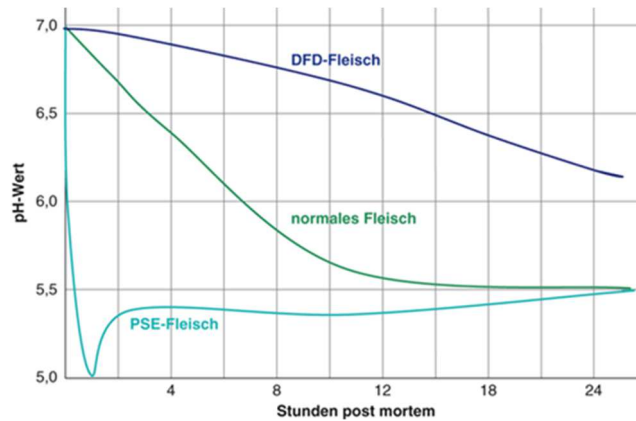


Abbildung 2: Charakteristischer pH-Wert Verlauf bei Pale, Soft, Exudative (PSE) und Dark, Firm, Dry (DFD) Fleisch (RIMBACH et al., 2010)

Grundsätzlich haben Färsen und Kühe eine deutlich bessere Fleischbeschaffenheit als Bullen, da das Fleisch feinfaseriger und der Gehalt an intramuskulärem Fett höher ist (AUGUSTINI & FISCHER, 1979). Auch bei deutlich längeren Transport- und Standzeiten konnte nur selten DFD im musculus semimembranosus festgestellt werden. Darüber hinaus sind Bullen aus Laufstallhaltung anfälliger als jene aus Anbindehaltung (AUGUSTINI & FISCHER, 1979). In einer Untersuchung wurde festgestellt, dass Bullen aus Laufstallhaltung ein niedrigeres DFD-Vorkommen aufwiesen als Bullen, die längere Zeit vor der Schlachtung angebunden waren, jedoch vorher aus dem Laufstall kamen (MATZKE et al., 1985).

3. Ökonomische Einordnung von Rindern als Nutztierasse

Rinder sind ökonomisch gesehen die wichtigste Nutztierasse der deutschen Landwirtschaft. Die Hälfte aller landwirtschaftlichen Betriebe hält Rinder, um Milch oder Fleisch zu erzeugen (BMEL, 2020). Bei steigender Herdengröße sinkt die Anzahl der Betriebe. Jährlich werden so 33 Millionen Tonnen Milch und 1,1 Millionen Tonnen Rindfleisch erzeugt. Dafür werden jährlich ca. 3,4 Millionen Rinder geschlachtet (BMEL, 2020).

4. Transport und Schlachtung

4.1. Rechtliche Bestimmungen beim Tierschutz und Handlungsweisen der Betäubung

„Bei der Festlegung und Durchführung der Politik der Union in den Bereichen Landwirtschaft, Fischerei, Verkehr, Binnenmarkt, Forschung, technologische Entwicklung und Raumfahrt tragen die Union und die Mitgliedstaaten den Erfordernissen des Wohlergehens der Tiere als fühlende Wesen in vollem Umfang Rechnung [...]“. Dieser Satz bildet die Grundlage für das Handeln auf europäischer Ebene und ist im Artikel 13 des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union verankert. Der Tierschutz soll auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit (...) weiter verbessert werden (BMEL, 2019). Ein gemeinsamer Rechtsrahmen soll in Europa die Verwaltungsstrukturen abbauen, ohne dabei den Tierschutz zu vernachlässigen. Laut Artikel 3 der VO (EG) 1/2005 über den Schutz von Tieren beim **Transport** darf niemand eine Tierbeförderung durchführen oder veranlassen, wenn den Tieren dabei Verletzungen oder unnötige Leiden zugefügt werden könnten. Darüber hinaus müssen die Tiere transportfähig sein. Hier werden Rahmenbedingungen festgelegt, die in der nationalen Tierschutztransportverordnung (TierSchTrV) konkretisiert werden. Nutztiere sind transportunfähig, wenn sie „aufgrund ihrer Krankheit oder Verletzung nicht in der Lage sind, aus eigener Kraft und ohne schmerzhafte Treibhilfen in das Transportmittel zu gelangen oder bei denen aufgrund ihres Zustandes abzusehen ist, dass sie dieses aus eigener Kraft nicht wieder verlassen können“ (§27 Abs. 1 TierSchTrV).

Die VO (EG) 1099/2009 umfasst inhaltlich die Vorschriften den Tierschutz betreffend, die der **Schlachtbetrieb** zu erfüllen hat. Der Schlachthofbetreiber wird in die Verantwortung genommen, sich ständig durch kontinuierliche Eigenkontrollen zu verbessern und einen hohen Standard im Bereich des Tierschutzes zu erreichen und zu erhalten.

Ein komplettes Novum für die Schlachtbetriebe ist die Vorgabe, einen Tierschutzbeauftragten (m/w/d) mit den erforderlichen Fachkenntnissen zu stellen (Art. 17, VO (EG) 1099/2009). Die Aufgaben sind schriftlich in Standardanweisungen festzuhalten. Unter

anderem zählt hierzu die systematische Bewertung jedes einzelnen Tieres bei seiner Ankunft im Schlachtbetrieb, um sicherzustellen, dass Tiere mit besonderem Bedarf entsprechend gehandhabt werden (Anhang III Nr. 1.1) (BMJV, 2021).

In der VO (EG) 882/2004 werden die Verpflichtungen natürlicher und juristischer Personen in Bezug auf Tierschutz und Tiergesundheit sowie die behördliche Kontrolle geregelt (BMJV, 2021).

„Tiergesundheit und Tierschutz sind die wichtigsten Faktoren für die Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln (...) und für eine humane Behandlung von Tieren“.

Die VO (854/2004) ist Teil des „Hygienepakets“ und beinhaltet besondere Verfahrensvorschriften für die Überwachung von Lebensmitteln tierischen Ursprungs. „Die amtliche Überwachung von Erzeugnissen tierischen Ursprungs sollte alle Aspekte abdecken, die für den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung und gegebenenfalls für den Schutz der Tiergesundheit sowie für das Wohlbefinden der Tiere von Bedeutung sind“.

Das Tierschutzgesetz (TierSchG) wurde erlassen, um „[...] das Tier als Mitgeschöpf dessen Leben und Wohlbefinden zu schützen“. In §1 TierSchG ist der Grundsatz des Tierschutzes festgelegt: „Niemand darf einem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zuführen. Die Gewinnung von Lebensmitteln gilt als vernünftiger Grund und rechtfertigt die Tötung“. Für die Schlachtung ist im §4a TierSchG geregelt, („ein warmblütiges Tier darf nur geschlachtet werden, wenn es vor Beginn des Blutentzuges zum Zweck des Schlachtens betäubt worden ist“) und §4b TierSchG („das Schlachten von Tieren [...] näher zu regeln“) ergibt die Grundlage der Tierschutz-Schlachtverordnung.

In der Tierschutz-Schlachtverordnung (TierSchlV) werden sämtliche Vorgänge bei der Schlachtung von Tieren in Deutschland geregelt. Auf europäischer Ebene ist die VO (EG) 1099/2009 vorgesehen. Die Kombination dieser beiden Gesetze besagt, dass „Bei der Tötung und damit zusammenhängenden Tätigkeiten, Tiere von jedem vermeidbaren Schmerz, Stress und Leiden verschont werden sollen und bei der Planung, dem Bau und der Instandhaltung von Fixierungsanlagen und Betäubungsgeräten, sowie Anlagen und zur Tötung und Schlachtung so zu verfahren sind, dass ein rasches und wirksames Betäuben und Schlachten oder Tötung möglich ist“.

Bolzenschussbetäubung

Die älteste Art der Betäubung ist die „Keulung“, die schon in der Steinzeit praktiziert wurde. In diesem Fall wird das Tier durch einen Schlag auf den Kopf mittels Keule betäubt. In der Folge tritt eine Gehirnerschütterung und Bewusstlosigkeit ein (FAHRBACH, 1948). Gegen Ende des 19. Jahrhunderts trat ein Bewusstseinswandel in Europa ein und am 21.04.1933 wurde das Gesetz über das Schlachten von Tieren im ganzen Gebiet des damaligen Deutschen Reiches vorgeschrieben und die Betäubungspflicht eingeführt (DRAWER, 1987). Um den Vorgang der Betäubung zu standardisieren, wurde der Bolzenschussapparat entwickelt. Hierbei handelt es sich um einen röhrenförmigen Schussapparat, der mit Hilfe einer Treibladung oder Pressluft einen Bolzen 7-9 cm explosionsartig aus seiner Röhre schießen kann. Der Bolzen wird nach dem vollständigen Austritt durch Gummipuffer in sein Gehäuse zurückkatapultiert (TROEGER, 1990). Der Bolzen ist mit einer Hohlspitze ausgerüstet und aus tierschutzfachlicher Sicht bei korrekter Durchführung das schnellste und wirkungsvollste Betäubungsverfahren, da der gesamte Vorgang in weniger als 2 Millisekunden beendet ist. Die Wirkungsweise der Betäubung besteht aus zwei Faktoren. Der Aufschlag des Bolzens auf den Schädel bewirkt eine Gehirnerschütterung und das Eindringen des Bolzens mit seiner Hohlspitze in den Schädel eine Zerstörung der Hirnsubstanz (DALY & WHITTINGTON, 1989). Durch mechanische Zerstörung lebenswichtiger Zentren des Gehirns werden Atmung, Blutdruck, Herzfrequenz und andere Funktionen nachhaltig beeinflusst (MÄNNL, 1993). Nach dem korrekt ausgeführten Bolzenschuss ist die Reaktionsfähigkeit des Gehirns auf Reize aus der Außenwelt erlöschen und irreversibel, sofern der Blutentzug innerhalb der vorgeschriebenen 60 Sekunden erfolgt (DALY et al., 1988). Kennzeichen für eine gute Betäubungsqualität sind ein schlaff herabhängender Kopf, unabhängig von möglichen Kickbewegungen der Hintergliedmaßen, sowie ein locker geöffnetes Maul mit gerade heraushängender Zunge. Das Tier hängt mit gerader Rückenlinie und entspanntem Schwanz (GRANDIN, 2001b). Reflektorisch kann es zum Phänomen der Schnappatmung kommen, wo angedeutete Atemzüge aus schlaff geöffnetem Maul mit heraushängender Zunge zu beobachten sind (GILBERT, 1993). Auftretende Krampfanfälle haben nichts mit einer Schmerzreaktion zu tun; sie resultieren lediglich aus dem Aktivitätsverlust des Großhirns mit gesteigerter

medullärer oder spinaler Reflextätigkeit (RIEK, 1980). Beim Rind herrscht eine besondere Blutversorgungslage des Gehirns vor. Es wird durch ein Netz aus Vertebralarterien versorgt, die, im Unterschied zum kleinen Wiederkäuer (Schaf und Ziege), das Gehirn nach dem Bolzenschuss länger mit Blut versorgen (BLACKMORE & NEWKOOK, 1982). Aus diesem Grund lässt sich ein periodisches Wiederaufleben des elektroenzephalografischen (EEG) Signals nach dem Bolzenschuss erklären. Diese Versorgungsart des Gehirns nimmt mit dem Alter des Tieres zu (KALLWEIT et al., 1989).

Beim Schächten von Rindern kann der Eintritt in die Empfindungslosigkeit aufgrund der besonderen Blutversorgung des Gehirns bis zu mehreren Minuten dauern (GRANDIN & REGENSTEIN, 1994).

Wirkungsweise der Betäubung auf das Herz

Nach der Betäubung mit einem Bolzenschussapparat setzen kurzfristig die Atmung und der Herzschlag aus. 10 Sekunden nach dem Bolzenschuss steigen Herzschlag und Blutdruck wieder erheblich an, um nach durchschnittlich 75 Sekunden wieder den Ausgangswert zu erreichen (RIEK, 1980). Bei einer anderen Form der Betäubung von Rindern hat AICHINGER, 2003 festgestellt, dass es das oberste Ziel und die Aufgabe der Elektrobetäubung ist, einen Herzstillstand herbeizuführen. Dieser wird ausgelöst, indem eine effektive und wirksame Betäubungsströmung an das Tier gelegt wird, um Kammerflimmern auszulösen. Als problematisch wurde die mögliche Rückkehr des Herzens in den Sinusrhythmus während des Hochziehens des Rindes beschrieben. Es wäre möglich, dass mit der Stoß- und Druckbelastung der inneren Organe und des Pansens, Impulse kurzfristig einen wiederkehrenden Herzrhythmus erzeugen (AICHINGER, 2003). Mittels EKG kann die Herztätigkeit bei Rindern ermittelt werden. Das Erscheinen einer Null-Linie bezeichnet in diesem Fall das Erlöschen der Herzfunktion (HOFFMANN, 2003). Bei der Elektrobetäubung von Rindern war es bislang nur möglich, ein EKG direkt nach der Betäubung im Liegen zu generieren; die nächsten Arbeitsschritte und einsetzende Krämpfe standen einer weiteren technischen Umsetzung auf der Entblutbahn entgegen (AICHINGER, 2003).

Wirkungsweise der Betäubung auf die Atmung

Nach der Betäubung mit einem Bolzenschussapparat setzten kurzfristig die Atmung und der Herzschlag aus. 10 Sekunden nach dem Bolzenschuss erhöhten sich Herzschlag und Blutdruck erheblich, um nach durchschnittlich 75 Sekunden wieder den Ausgangswert zu erreichen (RIEK, 1980). Bei der Elektrobetäubung setzt die regelmäßige Atmung für 20-30 Sekunden aus. Zu diesem Zeitpunkt ist der Entblutevorgang meistens noch nicht durchgeführt worden und der Blutdruck stark erhöht. Trotz Kammerflimmern könnte eine Reoxygenierung des Blutes im Zuge von Atembewegungen stattfinden, die in Kombination mit der Blutversorgung des Gehirns (Vertebralarterien) zu einer negativen Veränderung („Wiederbelebung“) im Bewusstseinsstatus führen könnte (AICHINGER, 2003). Die sogenannte Schnappatmung tritt erst nach einer Weile bei bereits hängenden Tieren auf. Sie stellt sich als ein stereotypisches Hervorstrecken der Zunge aus dem schlaff geöffneten Maul dar. Es können nur angedeutete Atemzüge beobachtet werden. Diese reflektorisch bedingte Erscheinung wird verursacht durch Chemorezeptoren, die einen ansteigenden Kohlendioxidgehalt im Blut feststellen. Ausgelöst wird dies durch Atem- und Herzstillstand sowie rapiden Blutverlust (GILBERT, 1993).

4.2. Das Verhalten von Schlachtrindern während und nach dem Transport

Rinder sind Herdentiere, die durch eine Rangordnung ihr Zusammenleben organisieren. Diese gefestigte Rangordnung hat für die Tiere den Vorteil, dass schon Drohgebärden ausreichen, um rangniedere Tiere auf ihre Plätze zu verweisen. Es kommt nur zu einem Rankampf, wenn die optischen Erscheinungsmerkmale und verschiedene Drohgebärden wie Scharren, Kopf- und Halsreiben keine Wirkung zeigen. In diesem Fall stellen sich die Tiere gegenüber und versuchen sich mit dem Kopf und den Hörnern wegzuschieben. Eingliederung fremder Tiere in eine lange bestehende Herdengemeinschaft bedeutet massiven Stress und einen starken Eingriff in das Sozialverhalten der Herde (SUESS & ANDREAE, 1984). Die Beurteilung des Verhaltens von Tieren führt häufig zu unterschiedlichen Ergebnissen, da dem Beobachter nicht bekannt ist, welche Erfahrungen die Tiere vorher gemacht haben (GRANDIN, 1997). Werden Schlachttiere auf dem Transport und

am Schlachthof angeliefert und mit Tieren anderer Herkunft gemischt, führt das zu einer enormen Stressbelastung, da die Tiere nicht nur die fremde Umgebung als Reiz verstehen, sondern auch die sich ändernde Sozialstruktur. Im Wartestall sollten sich die Tiere vom Transportstress erholen, bei einer Durchmischung der Herkunft bleibt der Erholungseffekt aus und die Tiere kommen erschöpft in die Schlachtung (FJELKNER-MODIG & RUDERUS, 1983). Vor allem das stärkste und das schwächste Tier werden besonders gestresst durch die Vermischung. Das stärkste Tier wird durch erneute Rankämpfe zur Erhaltung der Dominanz in der Herde gedrängt und das schwächste Tier als „Sündenbock“ missbraucht, wenn Kämpfe gegen stärkere Artgenossen verloren wurden (GRANDIN, 1978). Diese beiden Randgruppen der Sozialstruktur haben bei einer Vermischung der Herkunft das größte Potential zur Ausbildung von DFD Fleisch. Nach GRANDIN (1980) sind Rinder Fluchttiere, bei denen besonders die wildlebenden Boviden (Rinder) die Möglichkeit der schnellen Flucht als einzigen Ausweg sehen, um einer Bedrohung zu entgehen. Dieser Instinkt ist bei den heutigen domestizierten Rindern noch vorhanden. Probleme im Umgang mit Rindern treten immer dann auf, wenn die Tiere den Umgang mit dem Menschen nicht gewohnt sind oder schlechte Erfahrungen gemacht haben. In diesem Fall versuchen die Tiere erneuten Kontakt zu vermeiden und vergrößern die Fluchtdistanz, so dass ein normaler Umgang dann nicht mehr möglich ist (GRANDIN, 1980). Wenn Tiere hingegen von frühester Jugend an den Menschen gewöhnt sind und noch keine negativen Erfahrungen gemacht haben, ist die Handhabung unproblematisch (GONYOU, 1993).

Für Rinder stellt der Transport immer eine außergewöhnliche Belastung dar, weil die Tiere aus ihrem bekannten Umfeld gerissen werden und vielen neuen Umweltreizen ausgesetzt werden. Als Reaktion darauf erfolgt eine erhöhte Bewegungsaktivität mit häufigem Positionswechsel im Fahrzeug. Durch die Bewegung des Transportfahrzeugs wirken auf die Rinder ungewohnte Beschleunigungskräfte, die bei schnellen Bremsmanövern häufig zu Balanceschwierigkeiten führen. Während der Fahrt ist zu beobachten, dass sich die Tiere in eine bestimmte Position (Kopf nach vorne) zur Fahrtrichtung aufstellen und diese bei geringerer Verladedichte häufiger wechseln. Gerade bei einer ungleichmäßigen Routenführung und vielen Kurvenfahrten wird dieser Effekt verstärkt

(TARRANT & GRANDIN, 2000). Die Ladedichte hat direkte Auswirkungen auf das Verhalten der Tiere während des Transportes. Bei einem höheren Platzangebot fällt es den Tieren leichter, sich auszubalancieren und Stürze während der Fahrt sind die Ausnahme. Niedergänge (Stürze) während des Transportes sind grundsätzlich unfreiwillig und haben eine destabilisierende Wirkung auf die gesamte Gruppe, weil Artgenossen ebenfalls stürzen könnten. Gefallene Tiere haben es aufgrund der Querschleunigung schwerer, während des Transportes erneut auf die Beine zu kommen. Bei Langzeittransporten von Bullen wurde beobachtet, dass sich die Tiere nach 16 Stunden hinlegten (TARRANT et al., 1992). In Finnland kommen Rinder zur Vermeidung von Schlachtkörperschäden und aggressivem Verhalten oftmals nur zu zweit in ein Transportabteil. Bei gleicher Herkunft legt sich ein Rind nach 2-3 Stunden hin, was bei einer größeren Anzahl von Tieren nicht beobachtet wurde, da sich in jeder Gruppe immer ein unruhiges Tier befindet, welches die gesamte Struktur negativ beeinflusst (HONKAVAARA et al., 1999).

4.3. Leitparameter bei der Schlachtung nach Temple Grandin

Eine der bedeutendsten Spezialistinnen für den Entwurf von Anlagen für Tierhaltung und Schlachtung ist die Handling-Expertin Temple Grandin. Sie ist Dozentin für Tierwissenschaften an der Colorado State University in Fort Collins (USA) und vor allem bekannt für die Fähigkeit sich gedanklich in Tiere hineinzusetzen und ihre Empfindungen zu teilen. Im Rahmen von diversen Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen hat Temple Grandin Leitparameter zur Bewertung des Tierwohls erarbeitet. Alle Leitparameter (LP) stellen jeweils für sich genommen einen Indikator für das Tierwohl dar und wurden unter anderem im Leitfaden „Recommended Animal Handling Guidelines & Audit Guide“ der American Meat Institute (AMI) Foundation veröffentlicht (GRANDIN, 2010a). Bei kleineren Betrieben, bei denen die Anzahl der ausgewerteten Tiere < 10 Stück ist, empfiehlt Temple Grandin eine Anpassung der Audit Richtlinien aufgrund der geringen Stückzahl.

Im Rahmen eines Verhaltens-Monitorings können durch die Aufzeichnung der Vitalparameter postmortal Indikatoren der Leitparameter abgelesen werden.

Leitparameter (LP) Betäubungsdurchführung

Als einer der Hauptindikatoren für den Tierschutz wird der **LP Betäubungsdurchführung** genannt. Dieser Parameter wirkt sich somit unmittelbar auf den Tierschutz während der Schlachtung aus. Bei der Bolzenschussbetäubung wird erfasst, ob ein Tier mit einem einzigen Schuss („One shot“) betäubt wurde oder nicht. Wenn die Nachbetäubungsquote bei über 5% ist, sollten die Ursachen ermittelt werden (GRANDIN, 2010a). Eine unsachgemäße Durchführung der Betäubung kann zu schweren Schädelverletzungen führen, die in der Folge Schmerz und Leid für das Schlacht tier bedeuten.

LP Bewusstlosigkeit der Tiere auf der Entblutestrecke

Als weiterer LP wird die **Bewusstlosigkeit der Tiere auf der Entblutestrecke** als Indikator erwähnt. Die TierSchlV schreibt in §12 Abs.1 vor, dass die Tiere „in einen bis zum Tod anhaltenden Zustand der Wahrnehmungs- und Empfindungslosigkeit versetzt werden“ müssen. Wird das Entbluten der Schlacht tier mit dem Töten gleichgesetzt, müssen die Prozessbevollmächtigten ihr Hauptaugenmerk auf das Zeitintervall vom Betäuben bis zum Entbluten legen (TROEGER, 2010). Schlacht tier, die ohne Betäubung und damit bei vollem Bewusstsein sterben, sind in der Zeit Schmerzen und Leiden ausgesetzt (VON HOLLEBEN, 2010). Die Tiere werden daher an der Entblutestrecke auf Anzeichen von Bewusstsein kontrolliert, wie zum Beispiel: Regelmäßige Atmung (mind. 2 Atemzüge mit Brustkorbbewegung), Lautäußerung auf der Entblutestrecke, Steife, verdrehte Zunge, spontanes Blinzeln oder gerichtete Augenbewegung, Aufrichtversuche, Reaktionen auf den Schmerzreiz am Nasenseptum und Lid-/Kornealreflex.

Um die Stressbelastung der Tiere im Zutrieb so niedrig wie möglich zu halten, müssen alle Bereiche mit rutschfestem Boden versehen sein. Die höchsten Cortisolspiegel (Indikator für Stress) wurden dort gemessen, wo sich Tiere nicht sicher fortbewegen konnten und ausrutschten (COCKRAM & CORLEY, 1991).

LP Hinfallen (Stolper-Index)

Durch den **LP Hinfallen (Stolper-Index)** fühlen Tiere nicht nur Stress, sondern auch Schmerz. Weitere Gründe für ein vermehrtes Hinfallen können eine lange Transportdauer, die Gestaltung der Treibgänge und hektisches Treiben sein. Die größten Probleme befinden sich auf dem Weg in die Fixiereinrichtung und nicht beim Abladen. Ein Tier gilt als hingefallen, wenn es seine aufrechte Position verliert und mit einem anderen Körperteil außer den Gliedmaßen den Boden berührt (GRANDIN, 1998b). Nach der Arbeitsgruppe vom Verband der deutschen Fleischwirtschaft (VDF) Tierschutz 2014, ist „Fallen“ der Tiere wie folgt definiert: „Bei Tierbewegung berührt nicht nur die Klaue den Boden“.

Forschungen haben ergeben, dass grundsätzlich ca. 95% der Lautäußerungen von Rindern vor der Schlachtung durch nachvollziehbares Verhalten provoziert sind.

LP Lautäußerungen

Im Rahmen vieler Studien sammelte Temple Grandin die Ursachen für den **LP Lautäußerungen** bei Rindern auf dem Schlachthof. Diese Lautäußerungen entstehen durch menschliches Einwirken in Zusammenhang mit der Umgebung und stehen im Gegensatz zum Tierwohl. Beispielsweise führte der unverhältnismäßige Einsatz der elektrischen Treibhilfe zum Schreien der Rinder (GRANDIN, 1998a). Auch zu starker Anpressdruck der Kopffixierung und dadurch aufkommende Atemnot und Panik war Auslöser für vermehrte Lautäußerung. Im Zutrieb war eine lange Verweildauer und Herkunftsvermischung der Rinder verantwortlich für vermehrte Vokalisation (GRANDIN, 2001a). Auch andere Autoren konnten den Zusammenhang zwischen vermehrten und ansteigenden Lautäußerungen klar dem steigenden Stresslevel der Tiere zuordnen (DUNN, 1990). Eine tier-spezifische Dokumentation der Lautäußerung hilft, die Ursachen zu finden und Tierschutzdefizite aufzudecken. Einzuhaltende Maximalwerte werden unter anderem von örtlichen Gegebenheiten beeinflusst. Der häufige und nicht zielgerichtete Einsatz von Elektrotreibern wirkt nicht nur negativ auf die Fleischqualität, sondern erzeugt bei den Tieren auch sehr großen Stress (VON BORELL & SCHAEFFER, 2005).

LP Einsatz der elektrischen Treibhilfe

Durch den ***LP Einsatz der elektrischen Treibhilfe*** verändert sich unter anderem die Herzfrequenz und es kann zur Maulatmung kommen. Andere physiologische Parameter wie zum Beispiel die Laktatwerte im Blut werden negativ beeinflusst (EDWARDS et al., 2010). In der VO (EG) 1099/2009 wird der Einsatz von Elektrotreibern erlaubt, allerdings nur bei „ausgewachsenen Rindern (...), die jede Art der Fortbewegung verweigern“, vorausgesetzt sie haben genug Platz zum Ausweichen. Weiter „dürfen nur Stromstöße von max. 1 Sekunde in angemessenen Abständen und nur auf die Muskelpartien des Hinterviertels verabreicht werden“. Die TierSchIV konkretisiert den Einsatz der elektrischen Treibhilfe in §5 und reglementiert die Anwendung auf „gesunde und unverletzte Rinder über einem Jahr“ und auf den „Bereich der Vereinzelnung vor oder während des unmittelbaren Zutriebs zur Fixationseinrichtung“. Der Einsatz des Elektrotreibers wird numerisch pro Tier erfasst, um eine Bewertung zu erhalten.

Jedwede vorsätzliche Gewalt gegenüber Tieren wird als „Missbrauch“ gedeutet und führt als KO-Kriterium zum nicht bestandenen Temple Grandin Audit (TGA) (GRANDIN, 2010b). Beispiele dazu finden sich auch im Anhang III der VO (EG) 1099/2009.

LP Gewaltausübung

Als ***LP Gewaltausübung*** oder vorsätzliche Gewalt gelten folgende Aktionen: lauffähiges Tier bei vollem Bewusstsein zum Schlachtplatz ziehen; absichtlich den Elektrotreiber an empfindliche Körperstellen ansetzen; Türen, Tore oder Gatter auf Tiere absenken; Tiere zu schlagen oder zu treten; Tiere an Kopf, Fell, Ohren, Hörnern, Beinen oder Schwanz hochzuheben.

Die Aufnahme von Wasser gehört zu den Grundbedürfnissen und hat direkten Einfluss auf das Wohlbefinden und die Fleischqualität (COCKRAM & CORLEY, 1991; VON BORELL & SCHAEFFER, 2005). Faktoren wie saubere Buchten, ausreichendes Platzangebot, geeignete klimatische Bedingungen und Wasser ad libitum werden als Indikatoren für Tierwohl herangezogen (DE LA LAMA, 2013).

LP Wasserversorgung

Der ***LP Wasserversorgung*** wird bewertet durch: Zugang der Tiere zu verhaltensgerechten Tränken, funktionsfähige Tränken, ausreichende Wassermenge pro Zeiteinheit und Sauberkeit des Wassers. Eine Wasserversorgung ist nicht notwendig, wenn die Tiere insgesamt nur 30 min. im Treibgang verbringen (REYMANN, 2016). Nach VO (EG) 1099/2009 Anhang III Nr. 2.3. muss der Betreiber der Schlachtstätte sicherstellen, dass die Tiere in den Buchten Zugang zu sauberem Trinkwasser haben.

5. Forschungsstand

Die vorliegende Arbeit untersucht die Möglichkeiten einer automatisierten Erfassung und Monitoring von biophysikalischen Vitalfunktionen bei weiblichen Rindern im Rahmen des Transportes und der Schlachtung. Verschiedene Autoren haben dazu bereits Arbeiten verfasst und kommen zu einem nicht eindeutigen Urteil.

So hat sich HENKE (2003) in ihrer Arbeit mit dem Einfluss von Kurzzeittransporten (< 8h) auf biochemische Reaktionen von Rindern sowie deren Schlachtkörperqualität und Fleischbeschaffenheit befasst. Es kommt mit steigender Fahrtzeit zu einer Beruhigung der Tiere – bei Einhaltung gewisser Bedingungen. Auch in der Studie von GEBRESENBET et al. (2012) über die Auswirkung von Transportzeit und Handhabung auf die physiologischen Reaktionen von Rindern, waren im Ergebnis die Herzfrequenzwerte von Kälbern, Jungbullen und Kühen für drei Kategorien von Transportzeiten grundsätzlich ohne signifikante Auswirkung auf die Herzfrequenz.

In der Arbeit von MARAHRENS et al. (1999) über den tierschutzgerechten LKW-Transport von Rindern auf Langstrecken zeigt sich allerdings, dass mit zunehmender Transportdauer Körpertemperatur und Stoffwechselfunktionen als Zeichen erhöhten Grundumsatzes ansteigen. Diese Studie erfolgte unter grundsätzlich optimalen Voraussetzungen, die die Anforderungen an die physiologische Adaptionsleistung der Rinder während der Untersuchung niedrig hielt.

Die Wissenschaft ist sich in der Kernaussage zum Transport und Behandlung von Rindern nicht einig. Es gibt allerdings Tendenzen, die es zu berücksichtigen gilt, so ist es wahrscheinlich für die vorliegende Arbeit am besten, wenn der Forschungsstand die praktischen Gesichtspunkte trifft.

Praktische Beweggründe

Die automatisierte Erfassung und das Monitoring von biophysikalischen Vitalfunktionen war nur möglich, da persönliche Kontakte in die Branche bestehen und sich die Züchter/Bauern nur aufgrund dessen bereit erklärt haben, den zusätzlichen Aufwand in Kauf zu nehmen.

Durch die persönlichen Kontakte ist die geografische Limitation automatisch gegeben, was in der Tatsache resultiert, dass Transportdauern auf maximal 4 Stunden angelegt sind.

Zwar würde man vermuten, dass generell längere Transportdauern zu „schlechteren“ physiologischen Parametern führen, allerdings konnte das nicht einheitlich in den oben genannten Studien beobachtet werden. Die noch ungeklärte Frage ist zudem, was ein „langer“ Transport überhaupt ist bzw. wo der „Kippunkt“ bei der Transportdauer hinsichtlich physiologischer Parameter liegen könnte, sofern er überhaupt existiert.

Zwar wird auch ein solcher Punkt mit dem existierenden Untersuchungsaufbau in der vorliegenden Arbeit nicht bestimmbar sein, es lohnt aber zwischen kurzen (<1 Std.) und nicht kurzen Transportdauern (>1 sowie <4 Std.) zu unterscheiden. Begrifflich werden in der vorliegenden Arbeit daher Transportdauern >1 Std. als „länger“ bzw. lang klassifiziert. Insgesamt ist aber zu erwarten, dass die Transportdauer „lang“ wohl nicht hinreichend verschiedene Ergebnisse der gemessenen Parameter von einer kurzen Transportdauer von <1 Std erzeugt.

Außerdem existieren in der Literatur bisher keine Erkenntnisse für sehr kurze Transportdauern von Rindern mit <1 Std.

Die Chance, diese beiden Umstände, sofern korrekt, (1) keine/kaum Unterschiede in den Parametern unabhängig von der Transportdauer und 2) bisher keine separat betrachteten „Ultrakurztransporte“ gleich „mit zu untersuchen“, vor allem unter dem Gesichtspunkt praktischer und wissenschaftlicher Relevanz im Rahmen der Fleischerzeugung als auch forschungsökonomischer Gründe, konnte ich nicht verstreichen lassen, vor allem, wenn von deren Richtigkeit ausgegangen werden kann.

Allerdings ist es wahrscheinlich nicht möglich, aufgrund des kleinen vorliegenden Stichprobenumfangs, kleine Effekte über die Zeit oder zwischen den Gruppen zu erkennen. Folglich sind es wahrscheinlich nur mittel bis große Unterschiede, die erkennbar sein werden.

6. Allgemeiner Ansatz und Ziel der Arbeit

Die abschnittsübergreifende Untersuchung des Umganges in Bezug auf stressbezogenes Verhalten von Nutztieren bei Transport und Schlachtung ist sinnvoll, da sie mögliche Rückschlüsse und Maßnahmen zulässt, um potentielle Verbesserungen der beteiligten Prozesse kontrolliert umzusetzen, weil sich diese direkt auf die Förderung des Tierschutzniveaus und damit positiv auf die Qualität des Produktes auswirken.

In diesem Zusammenhang soll außerdem versucht werden, jedem Leitparameter (LP) des Temple Grandin Audits (TGA) im Rahmen der Analyse und Auswertung festgelegte Vitalparameter zuzuordnen. Durch die Beurteilung des Tierwohls anhand der LPs und Messung der Indikatoren wird die Möglichkeit verfolgt, ob es a) überhaupt machbar ist und b) wie es gelingen kann, eine automatisierte Erfassung der Vitalparameter durchzuführen, die sich auf das Tierschutzniveau auswirkt und damit auch auf die Fleischqualität.

Für die nachfolgende Studie ist deshalb folgendes Ziel definiert:

Untersuchung der Machbarkeit, ob ein für die Anwendung beim Menschen konstruierter Biosensor über 4 Abschnitte (samples: 1- Beladung, 2- Transport, 3- Entladung/Zutrieb und 4- Betäubung/Entblutung) der Rinderschlachtung verfügbare biophysikalische Vitalfunktionen von Rindern aufzeichnet.

Folgendes Hypothesenschema wurden dabei untersucht:

Tabelle 2: Hypothesenschema und statistische Methodik

<u>Hypothesen</u>	<u>Abhängige Variablen</u> <u>(Parameter)</u>	<u>Anzahl unabhängiger Variable(n)/</u> <u>Faktor(en)</u>	<u>Methode</u>
<p>H1:</p> <p>„Es bestehen bezüglich der Länge des Transportes (Transportentfernung) keine Unterschiede hinsichtlich der verschiedenen Parameter.“</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>RR</i> - <i>HR</i> - <i>SDNN</i> - <i>RMSSD</i> - <i>LF/HF Ratio</i> - <i>EKG Amplitude</i> - <i>Atemfrequenz</i> - <i>Körperlage</i> - <i>Aktivität</i> - <i>Körpertemperatur</i> - <i>Schritte</i> - <i>Stolper Index</i> 	<p>1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transportentfernung (lang/kurz) – unterteilt die Stichprobe in 2 Gruppen 	<p>Nicht parametrische gemischte ANOVA für mit Transportentfernung als Gruppenvariable (Zwischensubjektfaktor) sowie unter Kontrolle des Prozessabschnitts als Messwiederholung (Innersubjektfaktor). Tierische Identität als Zufallseffekt.</p>
<p>H1.A</p> <p>Die Transportentfernung (Weg) von Rindern zum Schlachthof, ohne direkten menschlichen Kontakt, beeinflusst als „Blackbox“ in spezieller Weise die Herzparameter der Rinder. Die Abschnittsdauer hat grundsätzlich keine Auswirkungen auf weitere Prozesse.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>RR</i> - <i>HR</i> - <i>SDNN</i> - <i>RMSSD</i> - <i>pNN50</i> - <i>SI (Stress- Index)</i> - <i>LF/HF Ratio</i> - <i>EDR</i> - <i>SD1</i> - <i>SD2</i> - <i>SD2/ SD1 Ratio</i> - <i>DFA α1</i> - <i>DFA α2</i> - <i>PNS</i> - <i>SNS</i> 	<p>1.A:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transportentfernung unterteilt die Stichprobe in 2 Gruppen (kurz/lang) - Abschnittsdauer (Dauer) unterteilt den Prozess in 4 Stufen, die Abschnitte (1,2,3,4), die Messzeitpunkte in 5 min Sequenzen.. 	<p>SAS System</p> <p>Mixed ANOVA</p> <p>Transportentfernung (Weg) ist ein Faktor (Zwischensubjektfaktor) mit 2 Ebenen (Kurz/Lang).</p> <p>Abschnittsdauer (Dauer) ist ein Faktor (Innersubjektfaktor) mit 4 Stufen. Tierische Identität als Zufallseffekt.</p>
<p>H2:</p> <p>„Es bestehen bezüglich des Abschnitts im Produktionsprozess keine Unterschiede hinsichtlich der verschiedenen Parameter.“</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>RR</i> - <i>HR</i> - <i>SDNN</i> - <i>RMSSD</i> - <i>LF/HF Ratio</i> - <i>EKG Amplitude</i> - <i>Atemfrequenz</i> - <i>Körperlage</i> - <i>Aktivität</i> - <i>Körpertemperatur</i> - <i>Schritte</i> 	<p>2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transportentfernung (lang/kurz)- unterteilt die Stichprobe in 2 Gruppen - Abschnitt (1,2,3,4)- die Messzeitpunkte, 	<p>Nicht parametrische gemischte ANOVA mit Transportentfernung als Gruppenvariable (Zwischensubjektfaktor) sowie dem Prozessabschnitt als Messwiederholung (Innersubjektfaktor). Tierische Identität als Zufallseffekt.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Stolper Index</i> 	für die je Individuum die AV gemessen wurde.	
<p>H3:</p> <p>„Es besteht keine Interaktionen zwischen den Abschnitten mit der Länge des Transportes (Entfernung).“</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>RR</i> - <i>HR</i> - <i>SDNN</i> - <i>RMSSD</i> - <i>LF/HF Ratio</i> - <i>EKG Amplitude</i> - <i>Atemfrequenz</i> - <i>Körperlage</i> - <i>Aktivität</i> - <i>Körpertemperatur</i> - <i>Schritte</i> - <i>Stolper Index</i> 	<p>3:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transportentfernung (lang/kurz)- unterteilt die Stichprobe in 2 Gruppen - Abschnitt (1,2,3,4)- die Messzeitpunkte, für die je Individuum die AV gemessen wurde. 	<p>Nicht parametrische gemischte ANOVA mit Transportentfernung als Gruppenvariable (Zwischensubjektfaktor) sowie Prozessabschnitt als Messwiederholung (Innersubjektfaktor). Tierische Identität als Zufallseffekt.</p>

II. EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG ZUR BEURTEILUNG DES TRANSPORTES UND DER SCHLACHTUNG VON RINDERN

1. Tiere und Untersuchungsaufbau

1.1. Tiere

15 weibliche Fleischrasse-Rinder wurden in der Zeit vom 01.03.2019 bis 21.04.2020 untersucht (n = 1 Charolais, n = 5 Fleckvieh und n = 9 andere Kreuzungstiere). Die untersuchten Rinder in Abbildung 3 hatten ein Alter von 845 ± 242 Tage mit einem Schlachtgewicht von 327 ± 34 kg. N = 10 für Kurzzeittransporte mit einer Transportdauer unter 60 min (56.24 ± 23.50 min) und n = 5 für längere Transporte mit einer Transportdauer zwischen 60 min und 240 min (176.59 ± 51.91 min).

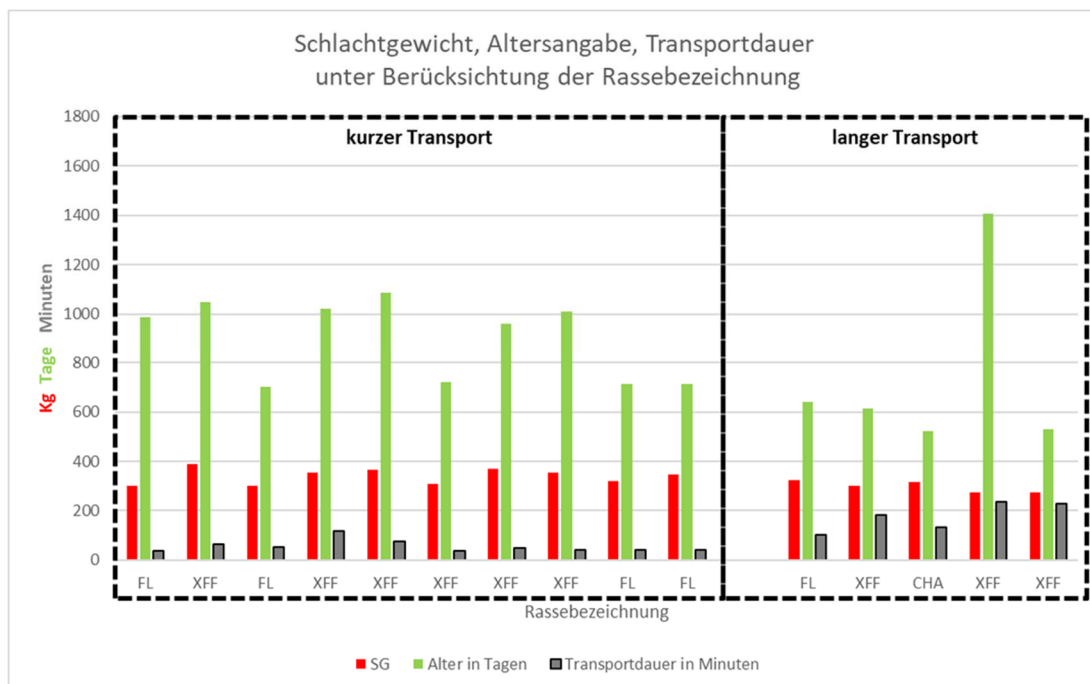


Abbildung 3: Merkmale der Tiere (Schlachtgewicht in kg (in rot), Altersangabe in Tagen (in grün), Transportdauer in Minuten (in grau) und Rasse (FL: Fleckvieh; XFF: Kreuzung; CHA: Charolais)), die im Kurz- und Langtransport untersucht wurden.

Alle Tiere entstammten konventioneller Haltungsformen aus Gruppenhaltung und saisonaler Weidehaltung, aber keiner Anbindehaltung im Stall.

Die Tierschutzbelange wurden durch die zuständige Behörde (Fachamt für Verbraucherschutz, Gewerbe und Umwelt, Abteilung Veterinärwesen und Lebensmittelüberwachung, Hamburg-Eimsbüttel) im Rahmen der Überwachung im Hinblick auf die europäische sowie auch nationale Tierschutztransportverordnung (VO (EG)1/2005, TierSchTrV) und die europäische sowie auch nationale Tierschutzschlachtverordnung (VO (EG) 1099/2009, TierSchIV) kontrolliert.

1.2. Aufbau der Untersuchung

Im Zeitraum vom 01.03.2019 bis 21.04.2020 wurden auf einem Schlachthof in Norddeutschland 15 Rinder vom Zeitpunkt des Beladens auf das Transportfahrzeug im Erzeugerbetrieb bis zum Entbluten nach der Betäubung im Schlachthof untersucht. Unterschiede gab es in dieser Untersuchung lediglich bei der Transportentfernung und der daraus resultierenden Art der Beförderung. N = 10 für Kurzzeittransporte mit einer Transportdauer unter 60 min (56.24 ± 23.50 min) und n = 5 für längere Transporte mit einer Transportdauer zwischen 60 min und 240 min (176.59 ± 51.91 min) (Abbildung 4).

Quelle: https://d-maps.com/carte.php?num_car=4693&lang=de

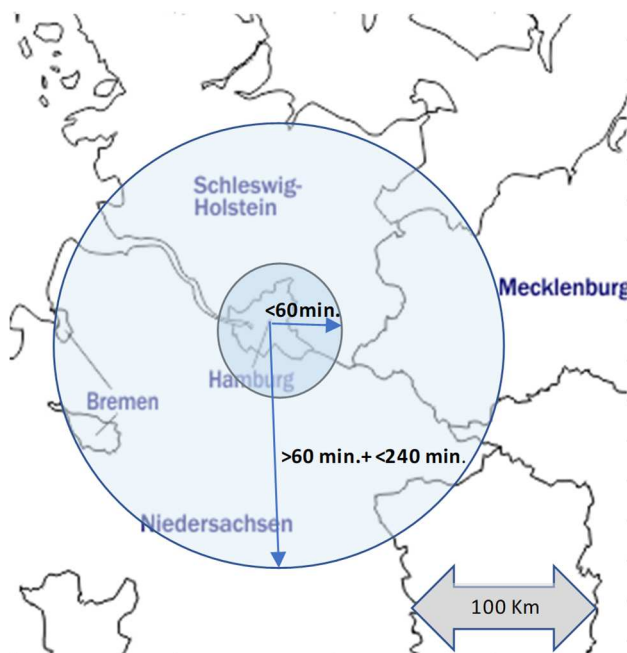


Abbildung 4: Übersicht der Transportentfernungen für kurzen und langen Transport

Die Untersuchungen gliederten sich in die Abschnitte Beladung, Transport, Entladung/Zutrieb, und Betäubung/Entblutung der Rinder (Abbildung 5). Die Kontakte zu den Landwirten und Viehhändlern bestehen seit vielen Jahren, daher konnte das Vertrauensverhältnis genutzt werden, um diese Untersuchungen durchzuführen.

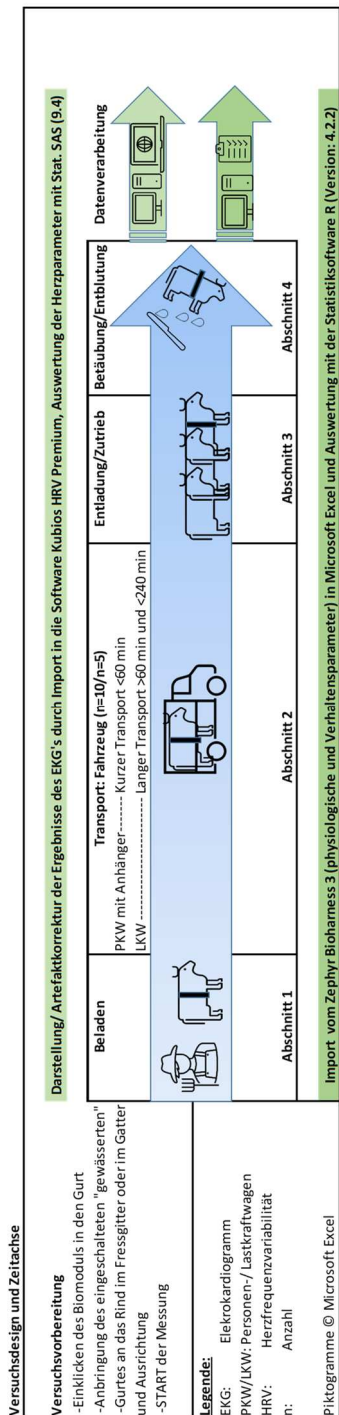


Abbildung 5: Versuchsdesign und Zeitachse für die Untersuchungen

Ein **Biomodul** (BioHarness 3, Zephyr Technology, Annapolis, USA) wird in ein, an den Rinderbrustumfang angepassten Gurt (Zephyr Technology, Annapolis, USA; Anhang 4) eingeklickt, um die physiologischen Verhaltensparameter zu messen (Abbildung 5). Integriert sind zwei Elektrodenpolster, bei der die erste Elektrode in der Nähe des Ellenbogens positioniert wird und die zweite Elektrode im Bereich des rippengestützten Brustkorbs. Der Ablauf im Gurt-Handling begann vor Beginn des Transportes mit der Anbringung des Gurtes an einem Rind im Stall. Es gab keine Gewöhnungsphase der Tiere an den Gurt, sondern lediglich eine Beobachtungsphase, bei der keine Abweichungen festgestellt wurden. Um nicht in die Gruppenstruktur der Rinder einzugreifen, wurde das Rind in der geplanten Art und Weise zum Schlachthof transportiert. Die nicht invasive Erfassung der Daten durch das Biomodul erfolgte im Rahmen der Lebensmittelgewinnung und hat zu keiner Zeit Tiere durch Schmerzen, Leiden oder Schäden beeinträchtigt.

Die **Transporte** erfolgten in verschiedenen Fahrzeugtypen. Der Langstreckentransport (60 - 240 min) wurde immer mit einer Zugmaschine oder Zugmaschine mit Anhänger ausgeführt. Beim Kurzstreckentransport (< 60 min) wurden die Tiere mit PKW und Pferdeanhänger oder mit Traktor und Ladewagen transportiert. Die Fahrzeuge befinden sich im jeweiligen Besitz des Ausführenden und werden auch sonst zum Tiertransport eingesetzt. Die Zugmaschine (LKW) ist luftgefedert und nach den gängigen Normen zum Transport zugelassen. Das Fahrzeug kann abgesenkt werden, so dass der Entladewinkel reduziert wird. In allen Fahrzeug-Gattungen wurde auf Einstreu geachtet. Der Händler, der Transporteur und der Schlachthof sind die Stationen der nachgelagerten Produktionskette in der Lebensmittelerzeugung, welche ein Schlachttier am kürzesten im lebenden Zustand sehen.

Der Schlachtbetrieb liegt in Norddeutschland (Hamburg) und ist von der Autobahn gut zu erreichen. Die **Entladung** der Rinder wird über eine gesonderte Lebendviehannahme organisiert. Die Fahrzeuge mit den Schlachttieren müssen dafür auf den hinteren Teil des Firmengeländes fahren und können dort an eine extra Rampe für Schlachtvieh andocken. Die Entladung ist erhöht, so dass sich der Winkel der Entladerampe tiergerecht verkleinert. Zur Desinfektion des Fahrzeugs steht ein Waschplatz zur Verfügung. Die

Tiere werden in den Transportgruppen getrennt nach Herkunft der Schlachtung zugeführt, wobei sie zuerst in den Vorbereich laufen, wo die Ohrmarken überprüft werden und die Lebendbeschau stattfindet. Die Tiere stehen in herkunftsreinen Transportgruppen von max. 6 Tieren in Buchten. Es gibt einen Aufsprungschutz, um Aufreitversuche und dadurch bedingte Unruhe und die Bildung von Hämatomen zu unterbinden. Die Wartestallplätze sind mit Tränken ausgerüstet, wo die Tiere jederzeit selbständig Zugang zu Wasser haben. Für weitergehende tierärztliche Untersuchungen gibt es die Möglichkeit, Tiere auszusondern und getrennt zu untersuchen.

Die Vereinzelung erfolgt ganz zum Schluss, so dass die Rinder möglichst lange in der Gruppe zusammenbleiben. Hier ist im Zutrieb ein Rücklaufschutz installiert und seitliche Sichtbegrenzungen, um optische Eindrücke auszugrenzen. Die Tiere werden dann einzeln in die Betäubungsfalle getrieben. Die Bucht verfügt über eine Einrichtung zur Kopffixierung, die gleichzeitig dafür sorgt, dass der Kopf in der optimalen Schussposition gehalten wird. Die Betäubungsfalle (ALCE GmbH, Thalheim/Wels, AT) wurde nach Absprache mit dem amtstierärztlichen Personal dem derzeitigen Stand der Wissenschaft angepasst. Es wird mit zwei Bolzenschussgeräten (EFA Cash Magnum 9000S, Kaliber .22) betäubt, für die ausschließlich die schwarz gekennzeichnete Munition verwendet wird, um unabhängig von der Rasse und Schädelplattendicke eine optimale Eindringtiefe und Geschwindigkeit zu erhalten. Optional gibt es von Seiten des Herstellers noch die Farben Rot und Grün für leichtere und kleinere Tiere. Nach der **Betäubung** und dem blitzartigen Bewusstseinsverlust rutschen die Tiere aus der Betäubungsbucht und werden am Hinterbein hochgezogen und im Hängen per Bruststich entblutet. Zu diesem Zweck wurde der Gurt zusätzlich aufgepolstert und das Biomodul unter einer Abdeckung geschützt. Nach Absetzen des Rinderschädels wurde der Gurt gelöst und die Messungen beendet. Die Erstellung der einzelnen Transportabschnitte (Samples) erfolgte mit Hilfe einer Uhr. Post mortem wurde anhand der Vitalgraphen bei den untersuchten Rindern ein Temple Grandin Audit (**TGA**) durchgeführt, um die über das Zephyr BioHarness 3 gewonnenen Daten auf Verwertbarkeit für diesen Zweck zu testen.

Um Veränderungen der Fleischqualität zu registrieren, wurde der **pH₁** und der **pH₂₄** (1 Stunde und 24 Stunden) post mortem im M. Longissimus thoracis et lumborum bei den untersuchten Rindern gemessen.

2. Erfassung, Export und Verarbeitung von Daten

2.1. Erfassung der Messdaten

Mit dem BioHarness 3 (Zephyr Technology, Annapolis, USA) wurden Elektrokardiogramm (EKG), Atemfrequenz, Körpertemperatur, Körperlage, Bewegungsaktivität, Stolper-Index und Schritte kontinuierlich nicht invasiv aufgezeichnet.

Nach der Anbringung des Gurtes im Stall erfasste das BioHarness 3 fortlaufend alle möglichen Parameter mit der Taktung von 1 Hz. Von außen hat man bei dieser Art der Aufzeichnung keine Möglichkeit mehr in den Messrhythmus einzugreifen. Ich habe mich für eine nachträgliche Datenanalyse entschieden, um zuverlässigere Daten zu erhalten, die parallel mit den TGA-Leitparametern verglichen werden können. Das Zephyr BioHarness 3 erlaubt aber auch eine „live“ Übertragung der Daten via Bluetooth, was allerdings bei der vorliegenden Arbeit nicht vorgesehen war, bei nachfolgenden Projekten aber durchaus in Betracht gezogen werden sollte. Zur Trennung der Messdatenreihen wurden Teilbereiche der Produktion in Abschnitte unterteilt, es wurde die exakte Uhrzeit festgehalten, bei der die Rinder die verschiedenen Abschnitte durchliefen. Nach dem Absetzen des Kopfes wurde die Messung beendet und die Aufzeichnung gestoppt. Durch die Verbindung von der Uhrzeit und den zeitlich zugeordneten Rohdaten lassen sich exakte Abschnitte definieren.

2.2. Export der Messdaten vom BioHarness 3

Die Rohdaten wurden nach Beendigung der Messung via Docking-Station auf den Computer übertragen. Das Format für den Export und die Speicherung der Rohdaten ist CSV (comma separated values) (Abbildung 6).

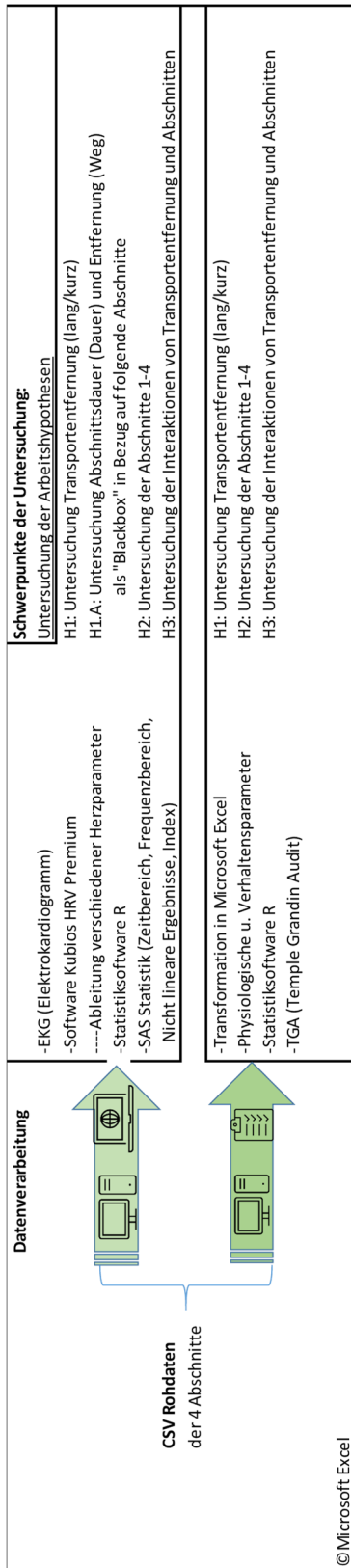


Abbildung 6: 2-Wege der CSV (comma separated values) Rohdatenverarbeitung

Die Messungen werden durch die zeitliche Abgrenzung in 4 Abschnitte (samples: 1- Beladung, 2- Transport, 3- Entladung/Zutrieb und 4- Betäubung/Entblutung) auch in Lang- und Kurzstrecke unterteilt.

2.3. Datenverarbeitung

Die Rohdaten des Zephyr BioHarness 3 werden in der vorliegenden Arbeit auf zwei Arten verarbeitet. Zum einen wird mit der Software Kubios HRV Premium das EKG Signal aufgegriffen, eine Artefakte-Korrektur durchgeführt und eine Vielzahl von Herzparametern abgeleitet. Diese dienen bei der späteren Statistik in R (Version 4.2.2) und SAS (SAS Institute Inc.) als Grundlage für die Untersuchung der voranstehenden Hypothesen. Zum anderen werden die physiologischen und Verhaltens-Rohdaten manuell auf Artefakte geprüft und in Excel transformiert. Die statistische Auswertung der physiologischen und Verhaltensparameter findet auch für das TGA (Temple Grandin Audit) wiederum in R (Version 4.2.2) statt.

3. Beschreibung der gemessenen Parameter

3.1. Physiologische Parameter

Elektrokardiogramm

Das EKG bildet den QRS-Komplex ab, an dem sich verschiedene Parameter ablesen lassen. Die EKG-Amplitude stellt eine unkalibrierte Amplitude dar, die von der Spitze der R-Welle zur Spitze der S-Welle im QRS-Komplex gemessen wird, angegeben in Volt. Die Herzfrequenz (HR) wird in Schläge pro Minute angegeben. HR kann in der Bandbreite zwischen 25-240 bpm aufgezeichnet werden. Bei einer HR von > 200 bpm sollte man die Messung auf Störgeräusche überprüfen. Die Herzfrequenzvariabilität (HRV) wird in Millisekunden (ms) gemessen und kann das Spektrum von 0-65534 haben. Unbrauchbare Werte oder Artefakte werden mit 65535 angegeben.

Atemfrequenz

Die Atemfrequenz wird in Atemzüge pro Minute gemessen und hat einen Messbereich von 4-70 Atemzüge pro Minute. Es sind einige Atemzüge notwendig, um den Aufzeichnungszyklus zu starten und zu stabilisieren. Dieses Prozedere kann zwischen 15-45 Sekunden in Anspruch nehmen. Fehler oder Artefakte entstehen, wenn der Gurt spontan verschoben wird und sich der Druck unnatürlich ändert. Die Atmung wird mit Hilfe eines Drucksensors im BioHarness 3 erfasst.

Körpertemperatur

Die Körpertemperatur wird in Grad Celsius gemessen. Der Messbereich liegt zwischen 33-41°C. Fehler oder Artefakte werden mit 65535 dargestellt. Die Messung der Körpertemperatur ist erst nach der Kalibrierungszeit von ca. 10 min verwertbar.

3.2. Verhaltensparameter

Körperlage (Posture)

Um objektiv zu untersuchen, wann das Rind eine Winkelveränderung vornimmt, z.B. Hochziehen mit der Seilwinde nach der Betäubung, wird die Lage des Körpers in Grad gemessen. Beim Rind ist -75° für die normale Körperhaltung auf vier Gliedmaßen anzunehmen und 50° über Kopf hängend gemessen.

Bewegungsaktivität

Das Verhalten in Form der Aktivität oder 3D-Beschleunigung wird mit dem im BioHarness 3 integrierten 3D-Beschleuniger gemessen, in g ($1 g = 9.81 \text{ m/s}^2$) dargestellt und in einer Bandbreite von 0-16 ermittelt. Als Gleichung wird VMU (Vector Magnitude Units) = Wurzel ($x^2 + y^2 + z^2$) benutzt, wobei der Betrag des 3D-Vektors der 3 Achsen x, y und z sekundlich gemessen wird. Ein Beschleunigungswert von $> 0.2 g$ VMU wird als Gehen interpretiert, ein Wert von $> 0.8 g$ VMU als Laufen.

Stolper-Index (Peak Acceleration Phi Angle)

Um objektiv zu untersuchen, ob das Rind in den 4 Abschnitten gestolpert oder eingeknickt ist und zur Beurteilung der Betäubung (Aufrichtversuche) wird die Veränderung der Körperstellung, gemessen in Grad, ausgehend von der vertikalen Achse gemessen. Da sich das Rind anders als der Mensch auf zwei Vorder- und zwei Hintergliedmaßen fortbewegt, findet hier eine Winkelverschiebung um die Querachse statt, als ob sich die Darstellung in Abbildung 7 in den „Vierfüßlerstand“ begeben würde. Bei einem Stolpern oder Einknicken verschieben sich die Winkel aus der Normallage von 90° in Richtung $50-0^\circ$. Ein hängendes Tier befindet sich bei ca. 140° .

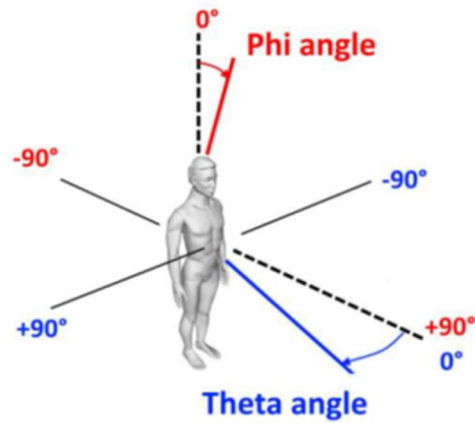


Abbildung 7: Winkel-Verschiebung des Körpers beim Menschen in Grad auf der vertikalen Achse (MEDTRONIC, 2017)

Schritte (Walk Steps)

Hierbei handelt es sich um die kumulative Schrittzählung mit Angabe der Anzahl. Die vertikal und horizontal messenden 3D-Beschleunigungssensoren ermitteln die Anzahl der Schritte. In der Untersuchung könnte man daraus ableiten, ob das Rind gelaufen oder gegangen ist.

3.3. Audit der Leitlinien nach Temple Grandin

Die Grundlage des Monitorings tierschutzrechtlicher Parameter bildet das „Handbuch Tierschutzüberwachung bei Schlachtung und Tötung“ durch die AG Tierschutz der Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz (LAV, 2017). Eine Herausforderung bestand darin, die rechtlichen Vorgaben und die fachlichen Leitparameter (LP) unter Zuhilfenahme des BioHarness 3 in einen Rahmen zu bringen und überprüfbar zu machen. Zu diesem Zweck sind die Aufzeichnungsdaten den fachlichen Leitparametern graphisch zugeordnet worden. Für die Bearbeitung und Auswertung des TGA's (Temple Grandin Audit) wurden die aufgezeichneten Vitalparameter aller untersuchter Rinder in Microsoft Excel aufbereitet, standardisiert unter der Zuhilfenahme der Leitparameter (1-Betäubungsdurchführung, 2-Bewußtlosigkeit auf der Entblutestrecke, 3-Fallen der Tiere, 4-Lautäußerung (Vokalisation), 5-Einsatz von Elektrotreibern, 6-Gewaltanwendung, 7-Wasserversorgung) bewertet (Abbildung 8). Die Leitparameter 4 (Lautäußerung) und 7 (Wasserversorgung) wurden manuell geprüft und bewertet, lassen sich aber nicht direkt über das Zephyr BioHarness 3 aufzeichnen.

Zu Beginn der jeweiligen Verladung der Rinder auf das Transportfahrzeug und als Vorbereitung für das TGA, wurde der Allgemeinzustand Rinder beurteilt und protokolliert. Auffällige Tiere, mit beispielsweise Anzeichen von Lahmheit oder Verletzungen wurden von der Studie ausgeschlossen. Zur Bewertung des Leitparameters 4 wurden Lautäußerungen von Tieren nur aufgrund von äußerlichen Einwirkungen gezählt. Kontaktlauten wurden nicht erfasst. Alle Treibhilfen (auch elektronische Treibhilfen) und die Tränken wurden auf ihre Funktionsfähigkeit geprüft. Im Rahmen des „Rinder-Handlings“ war die manuelle Zählung von eventuellen Einsätzen der elektrischen Treibhilfe nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit. Der Leitparameter 6 (Gewaltausübung) kann nicht unmittelbar als „Gewalterkennung“ durch das Zephyr BioHarness 3 detektiert werden, da sich die Gewalt, je nach Ausprägung, nur in einzelnen oder der Gesamtheit der Vitalparameter wiederfindet.

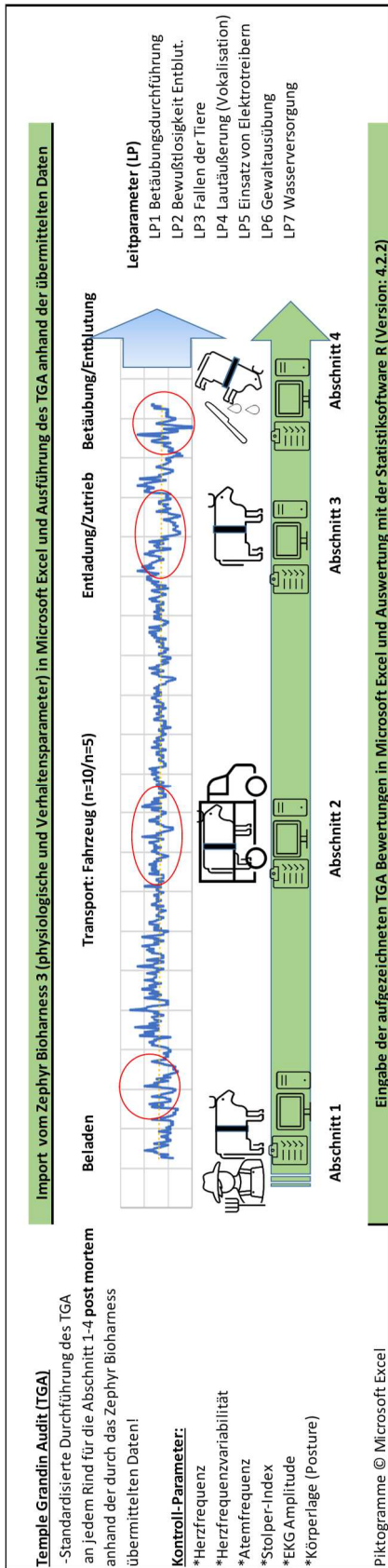


Abbildung 8: Postmortale Durchführung des Temple Grandin Audit (TGA) anhand von Vitalparametern des Zephyr Bioharness 3

Die Bewertungsergebnisse wurden in Microsoft Excel aufbereitet und mit der Statistiksoftware R aufgrund der Komplexität mit vielen verschiedenen Ebenen und Dimensionen lediglich deskriptiv analysiert. Zu diesem Zweck wurde ein Bewertungsschema (Abbildung 9) für die Leitparameter entwickelt bei dem 1=keine Abweichung, 2= negative Abweichung, -1= positive Abweichung definiert ist und anhand der zugeordneten Vitalparameter geprüft wird. Da bei dieser Untersuchung keine schweren Abweichungen (negativ/ positiv) festgestellt wurden, sind sie nicht aufgeführt. Als Besonderheit muss erwähnt werden, dass der LP1 (Betäubungsdurchführung) und LP2 (Bewusstlosigkeit auf der Entblutestrecke) aus tierschutzrechtlichen Gründen, zwingend Abweichungen ausweisen müssen, da sonst die Tiere nicht ordnungsgemäß betäubt wurden. Zu diesem Zweck wurden diese Abweichungen positiv bewertet dargestellt, während alle anderen Abweichungen in einer Warnfarbe dargestellt wurden.

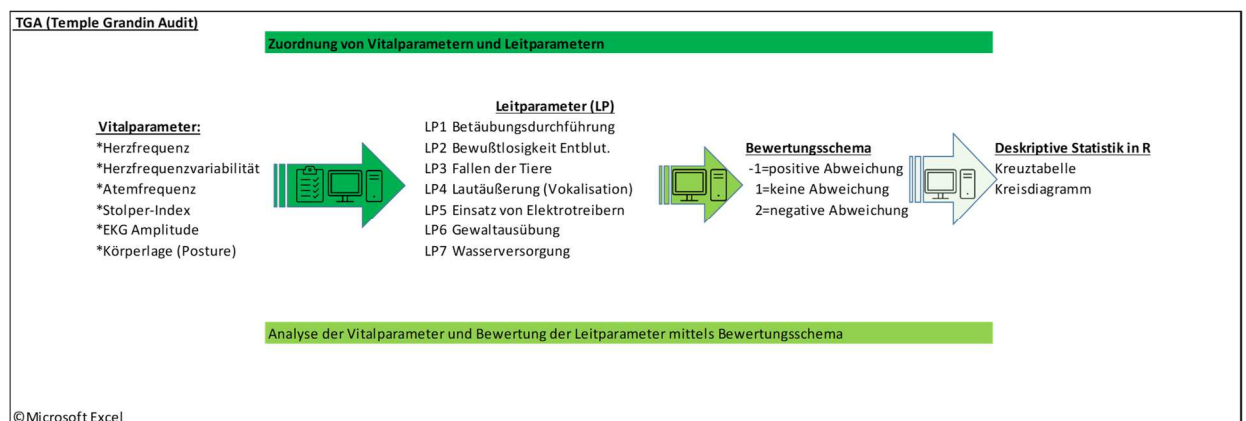


Abbildung 9: Analyse, Bewertung und deskriptive Statistik des TGA (Temple Grandin Audit)

Für die Analyse und Auswertung werden jedem Leitparameter (1-7) die Vitalparameter Atemfrequenz, EKG-Amplitude, Herzfrequenz, Herzrhythmusvariabilität, Körperlage und Stolper-Index zugeordnet.

Durch diese Kombination soll versucht werden, ein nachträgliches TGA abzubilden.

Verladung und Transport

Bei der Verladung und dem Transport der Rinder könnten anhand der Vitalparameter folgende Leitparameter geprüft werden: *LP 3 Fallen der Tiere, LP 4 Lautäußerung, LP 5 Einsatz von Elektrotreibern, LP 7 Wasserversorgung.*

Durch unsachgemäßes Treiben oder Hindernisse, die sich auf dem Treibgang befinden, könnte eine Korrelation aus kurzzeitig gesteigerter Herzfrequenz und Atemfrequenz vorliegen. Winkelverschiebungen in der Darstellung des Stolper-Indexes könnten das Fallen der Tiere detektieren. Durch die Betrachtung und Analyse der Herzfrequenz, HRV und Atemfrequenz könnten Rückschlüsse auf den Stresslevel gewonnen werden.

Die *LP Wasserversorgung und Lautäußerung* werden geprüft, lassen sich aber nicht durch das Zephyr BioHarness 3 aufzeichnen.

Entladung und Zutrieb

Der *LP 3 Fallen der Tiere, LP 4 Lautäußerung, LP 5 Einsatz von Elektrotreibern, LP 7 Wasserversorgung* und hängen unmittelbar vom „Zutriebs-Management“, d.h. der Qualität des Personals des Schlachthofes ab und wie der Fahrzeugführer den Umgang mit den Tieren gewohnt ist.

Bei Entladung und Zutrieb der Rinder vom LKW auf den Schlachthof gibt es für die Tiere diverse neue externe Faktoren, die Stress verursachen und damit auch alle Parameter des BioHarness 3 beeinflussen. Zu diesem Zweck werden die Tiere möglichst lange im Gruppenverband gelassen und erst ganz zum Schluss vereinzelt der Betäubung zugeführt.

Betäubung und Entblutung

Für die Kontrolle der *LP 1 Betäubungsdurchführung* sind verschiedene Parameter zu betrachten, die in Verbindung mit einer festgesetzten Zeit den Erfolg der Betäubung mit dem Bolzenschussgerät belegen. Hintergrund ist der Umstand, dass keine direkte Bewusstseinsaufzeichnung durch die Parameter erfolgt und man diese nur indirekt zur Bewertung heranziehen kann. Durch die Betäubung des Rindes werden die winkelabhängigen Parameter Körperlage und Stolper-Index verändert. Durch das Herausrutschen und Hochziehen des Rindes mit der Entblutekette werden weitere Winkelverschiebungen verursacht.

Der *LP 2 Bewusstlosigkeit* der Tiere auf der Entblutestrecke könnte mit der EKG Amplitude korrelieren. Sie stellt das Erregungsverhältnis vom Wellenberg der R-Welle und S-Welle im QRS-Komplex dar. Bei Veränderungen in der Dauer und/oder der Amplitude kann dies Aufschluss über eine Störung der Erregungsausbreitung am Ventrikel sein. Besonders im 4. Abschnitt, wo es zu einem klinischen Ausnahmezustand für das Rind kommt, beeinflussen sich unterschiedlichste Parameter in kürzester Zeit. Nach der Betäubung durch den Bolzenschussapparat verändern sich die Parameter Herzschlag und Atmung und durch die Entblutung wird der Volumenmangelschock eingeleitet. Der *LP 3 Fallen der Tiere* ist in dem Abschnitt 4 (Betäubung/Entblutung) nicht als Abweichung zu sehen, sondern als elementarer Bestandteil der Betäubungsdurchführung und Prüfung der Bewusstlosigkeit. Diese Abweichung wird als positive Abweichung bewertet. Der *LP 4 Lautäußerung* wurde mitgeprüft, aber nicht vom Zephyr BioHarness 3 aufgezeichnet. Der *LP 5 Einsatz Elektrotreiber* könnte ebenfalls mit der EKG-Amplitude korrelieren.

3.4. Postmortale Veränderungen des Fleisches, Messung des pH-Wertes

Die Dokumentation des pH-Wertes erfolgte mit einem Testo 205 (Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, DE) pH-Wert-Messgerät.

Zu diesem Zweck wurde das Messgerät zwischen 9-13 Rippe paravertebral in den Longissimus thoracis et lumborum (langer Rücken Muskel) eingestochen. Die Messungen erfolgen post mortal 1 Std. (pH_1) und 24 Std. (pH_{24}). Die Differenz der pH-Werte wurde bestimmt.

4. Datenauswertung

4.1. Aufbereitung der Daten

Das BioHarness 3 speichert die erfassten Rohdaten der Rinder auf einem internen Speichermedium. Die Daten wurden anschließend in eine Excel-Tabelle exportiert, die nach den Ohrmarkennummern der Tiere benannt sind. Mit Hilfe der ausgelesenen Daten konnte in Excel (EKG Amplitude, Atemfrequenz, Körpertemperatur, Körperlage, Bewegungsaktivität, Stolper-Index und Schritte) oder der Software Kubios HRV Premium (Mean RR, RMSSD) eine entsprechende Verarbeitung der Rohdaten erfolgen. Die Daten wurden neben der Gliederung in die 4 Abschnitte auch in der Entfernung unterteilt. Die postmortalen pH-Werte (pH₁/pH₂₄) wurden direkt in Excel eingetragen und ebenfalls nach der Transportentfernung unterschieden.

4.2. Kurzbeschreibung der durch die Analysesoftware KUBIOS HRV ermittelten Daten

Zur Analyse der Herz-Parameter wurden mit dem Zephyr BioHarness 3 Rohdaten gesammelt und mit der Software Kubios HRV Premium Version 3.1 (University of Eastern Finland, Kuopio, FI) ausgewertet. Hierbei handelt es sich um eine leistungsstarke Software zur Analyse der Herzfrequenzvariabilität (HRV). Durch die Untersuchung des Herz-Kreislauf-Systems können Auswirkungen von Stress und Erholung auf die Herzgesundheit bewertet werden (TARVAINEN et al., 2018). Die Software ist hauptsächlich für die Analyse der menschlichen HRV konzipiert, kann aber auch für tierische Forschungen bei Rindern verwendet werden, da die Herzfrequenz vergleichbar zu der des Menschen ist (Mikka TARVAINEN, „persönliche Mitteilung“). Die Eingabe von persönlichen Daten ist für die Erstellung von Leistungsmerkmalen nicht relevant, wenn man einige energiebezogene Parameter auslöst oder differenziert betrachtet (Mikka TARVAINEN, „persönliche Mitteilung“).

In Abbildung 10 findet man, markiert durch die roten Kreise, die Daten zur gesamten Messung eines Rindes und den einzelnen Abschnitten mit Angabe der Länge der Abschnittmessung, der Methode der Artefakte-Korrektur und dem prozentualen Anteil der korrigierten Artefakte in diesem Abschnitt.

Measurement Info			Results for Sample 1/4		
Date:	03/09/19	Trend removal:	Smoothn priors	Sample start:	07:31:25
Start time:	07:31:18	Artefact corr.:	Automatic correction	Sample length:	00:48:23
Duration:	03:41:03	Analysis samples:	4	Artifacts:	1.51 %

Abbildung 10: Informationen zum 1. Abschnitt (Sample) (Kubios HRV Analysis Software 3.1)

Die Ergebnisse der ausgewählten RR-Intervalle werden im Abschnitt der Ergebnisübersicht dargestellt (Abbildung 11). Sie sind unterteilt in Übersicht, Zeitbereich, Frequenzbereich, nichtlineare und zeitvariable Kategorie (TARVAINEN et al., 2018). Alle in Kubios aufgeführten Parameter werden aus dem EKG abgeleitet.

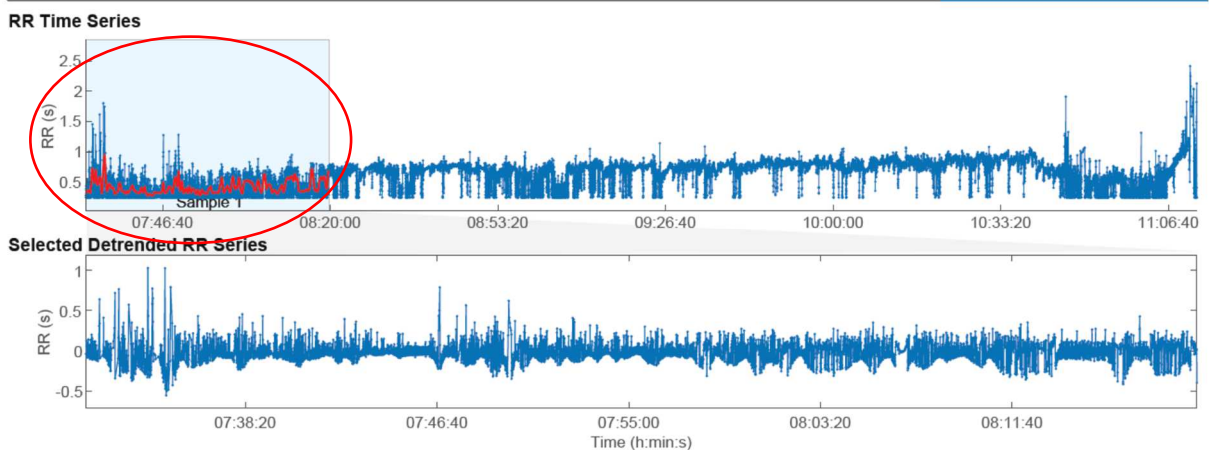


Abbildung 11: Ausgewählter Abschnitt (Sample) der RR-Intervalle (Kubios HRV Analysis Software 3.1)

Die Analyse der HRV-Daten im Bereich der **Time Domain Results** umfasst folgende Parameter (Abbildung 12).

Time-Domain Results

Variable	Units	Value
Mean RR*	(ms)	376
Mean HR*	(bpm)	160
Min HR	(bpm)	61
Max HR	(bpm)	234
SDNN	(ms)	114.4
RMSSD	(ms)	140.4
NN50	(beats)	4996
pNN50	(%)	66.37
RR triangular index		21.95
TINN	(ms)	1086.0
Stress Index (SI)		5.0

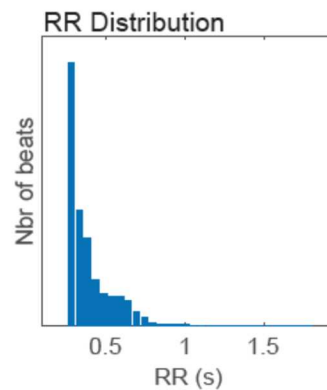


Abbildung 12: Ergebnis-Darstellung im Zeitbereich (Kubios HRV Analysis Software 3.1)

Bei der „Mean RR“ handelt es sich um den Mittelwert aller RR-Intervalle einer Messung, gemessen in Millisekunden (ms). Bei der „Mean HR“ handelt es sich um die mittlere Herzfrequenz einer Messung, angegeben in Schläge pro Minute (bpm). Bei der „SDNN“ handelt es sich um die Standardabweichung aller RR-Intervalle im untersuchten Zeitraum, gemessen in Millisekunden (ms). Die „RMSSD“ (engl. Root Mean Square of the Successive Differences) ist die Quadratwurzel der Mittelwerte der Summe der Differenzen aufeinanderfolgender RR-Intervalle und spiegelt den Vagustonus oder die kurzzeitige Variabilität des Herzschlages wider, gemessen in ms. Bei der „pNN50“ handelt es sich um die relative Anzahl aufeinanderfolgender RR-Intervallpaare, die sich um mehr als 50 ms unterscheiden, dargestellt in %. Der „SI“ (Stress-Index) wird nach der Formel von BAEVSKY berechnet (TARVAINEN et al., 2019). Hierbei handelt es sich um die Quadratwurzel vom Baevskys Stress-Index (Tabelle 3).

$$SI = \frac{AMo * 100\%}{2 * Mo * MxDMn}$$

Tabelle 3: Benennung der Variablen des Baevsky Stress-Index

Mo:	Modalwert, der in der Messreihe am häufigsten vorkommende RR-Intervall-Wert (sek.)
Amo:	Anzahl der am Modalwert vorkommenden RR-Intervalle bezogen auf die Gesamtanzahl (%)
MxDMn:	Differenz des grössten und des kleinsten RR-Intervalls (sek.)

Die Ansicht der Ergebnisse im Frequenzbereich zeigen sowohl die FFT (Fast Fourier Transformation) - als auch die AR (Autoregressiv)- Spektrenschätzung an (Abbildung 13).

Frequency-Domain Results (FFT spectrum)

Variable	Units	VLF	LF	HF
Frequency band	(Hz)	0.00-0.04	0.04-0.15	0.15-1.00
Peak frequency	(Hz)	0.037	0.067	0.160
Power	(ms ²)	607	6315	12940
Power	(log)	6.409	8.751	9.468
Power	(%)	3.06	31.78	65.12
Power	(n.u.)		32.78	67.17

Total power	(ms ²)	19871		
Total Power	(log)	9.897		
LF/HF ratio		0.488		
EDR	(Hz)	0.44		

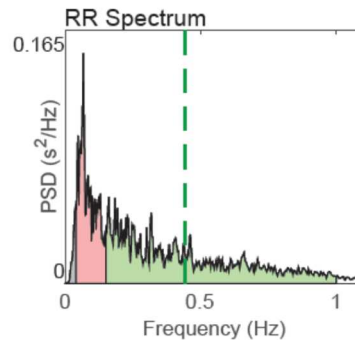


Abbildung 13: Ergebnis-Darstellung im Frequenzbereich (Kubios HRV Analysis Software 3.1)

Die Spektren der beiden Methoden werden in den beiden Achsen dargestellt. Wird das EKG gemessen, wird auch eine Schätzung der Atemfrequenz berechnet. Diese Schätzung der durch das Elektrokardiogramm abgeleiteten Atmung (engl. ECG-derived respiratory, EDR) wird in der Abbildung als vertikale (grüne) Linie dargestellt. Die Frequenzachsen der Spektren sind im Bereich von 0 Hz bis zur oberen Grenze des HF-Bandes 0,1 Hz festgelegt. Die Frequenzbereichsanalyse wurde nach dem Vorbild von KUWAHARA et al., 1996 ermittelt und angepasst. Die RR-Intervalle wurden mit einer Interpolationsrate von 2,5 Hz durchgeführt. Die Analyse der HRV-Daten im Bereich der **Frequency Domain** umfasst folgenden Parameter. Die „LF/ HF Ratio“ spiegelt das Verhältnis von LF-Power zu HF-Power und gilt als Maß für die Balance des autonomen Nervensystems.

Die nichtlineare Ergebnisansicht zeigt alle berechneten nichtlinearen Variablen in einer Tabelle (Abb. 14).

Nonlinear Results

Variable	Units	Value
Poincare Plot		
SD1	(ms)	99.3
SD2	(ms)	127.7
SD2/SD1		1.286
Approximate Entropy (ApEn)		1.290
Sample Entropy (SampEn)		1.141
Detrended Fluctuation Analysis (DFA)		
Short-term fluctuations, α_1		0.746
Long-term fluctuations, α_2		0.633
Correlation Dimension (D2)		2.823
Recurrence Plot Analysis (RPA)		
Mean line length (Lmean)	(beats)	13.46
Max line length (Lmax)	(%)	155
Recurrence rate (REC)	(%)	30.34
Determinism (DET)		97.71
Shannon Entropy (ShanEn)		3.325
Multi-Scale Entropy (MSE)		0.704 - 1.141

Abbildung 14: Nichtlineare Ergebnisdarstellung (Kubios HRV Analysis Software 3.1)

Die Poincaré Darstellung und die Detrended Fluctuation Analysis (DFA, Anti-Trend-Schwankungsanalyse)-Ergebnisse werden grafisch dargestellt (Abbildung 15).

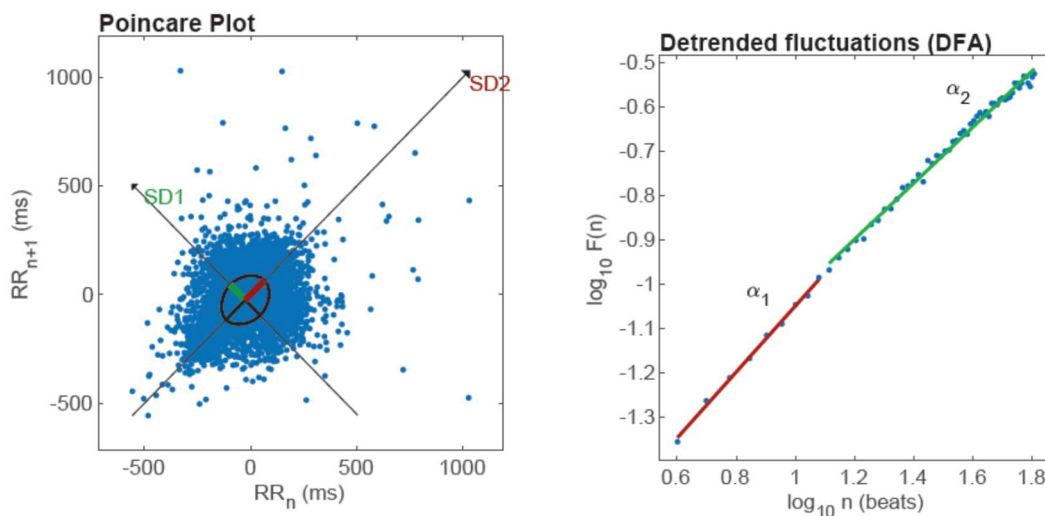


Abbildung 15: Poincare Darstellung und Anti-Trend-Schwankungsanalyse (DFA) (Kubios HRV Analysis Software 3.1)

Im Poincaré-Diagramm werden die aufeinanderfolgenden RR-Intervalle als blaue Punkte abgebildet und die SD1 und SD2-Variablen mit der Ellipsenanpassungstechnik darge-

stellt (TARVAINEN et al., 2018). Im DFA-Diagramm werden die abgeleiteten Schwankungen als Funktion in einer Log-Skala abgebildet und die Steigung für die kurz- und langfristige Schwankung angezeigt. Die Analyse der HRV-Daten im Bereich der **Non linear Results** umfasst deshalb folgende Parameter. Als „SD1“ wird die Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser der Ellipse des Poincare Plots bezeichnet, gemessen in ms. Sie steht im Allgemeinen für die kurzfristige Variabilität, die durch die respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) verursacht wird (TARVAINEN et al., 2019). Als „SD2“ wird die Standardabweichung der Punktabstände zum Längsdurchmesser der Ellipse des Poincare Plots bezeichnet, gemessen in ms. Sie steht im Allgemeinen für die Langzeitvariabilität (TARVAINEN, 2019; SHAFFER & GINSBERG, 2019). Als SD2/SD1-Ratio wird das Verhältnis von SD2 zu SD1 bezeichnet. Die Ratio stellt die Unvorhersehbarkeit der „Mean RR“ dar und misst das autonome Gleichgewicht bei sympathischer Aktivierung (TARVAINEN et al., 2019). Im DFA-Diagramm werden die abgeleiteten Schwankungen in einer Log-Skala dargestellt und kurz- sowie langfristige Schwankungen angezeigt. Die DFA misst die Korrelation innerhalb des Signals (TARVAINEN et al., 2019).

Die **zeitvariable Ergebnisansicht** wird standardmäßig auf die gesamte Messung angewendet und zeigt den zeitabhängigen Trend der ausgewählten Parameter (Abbildung 16).

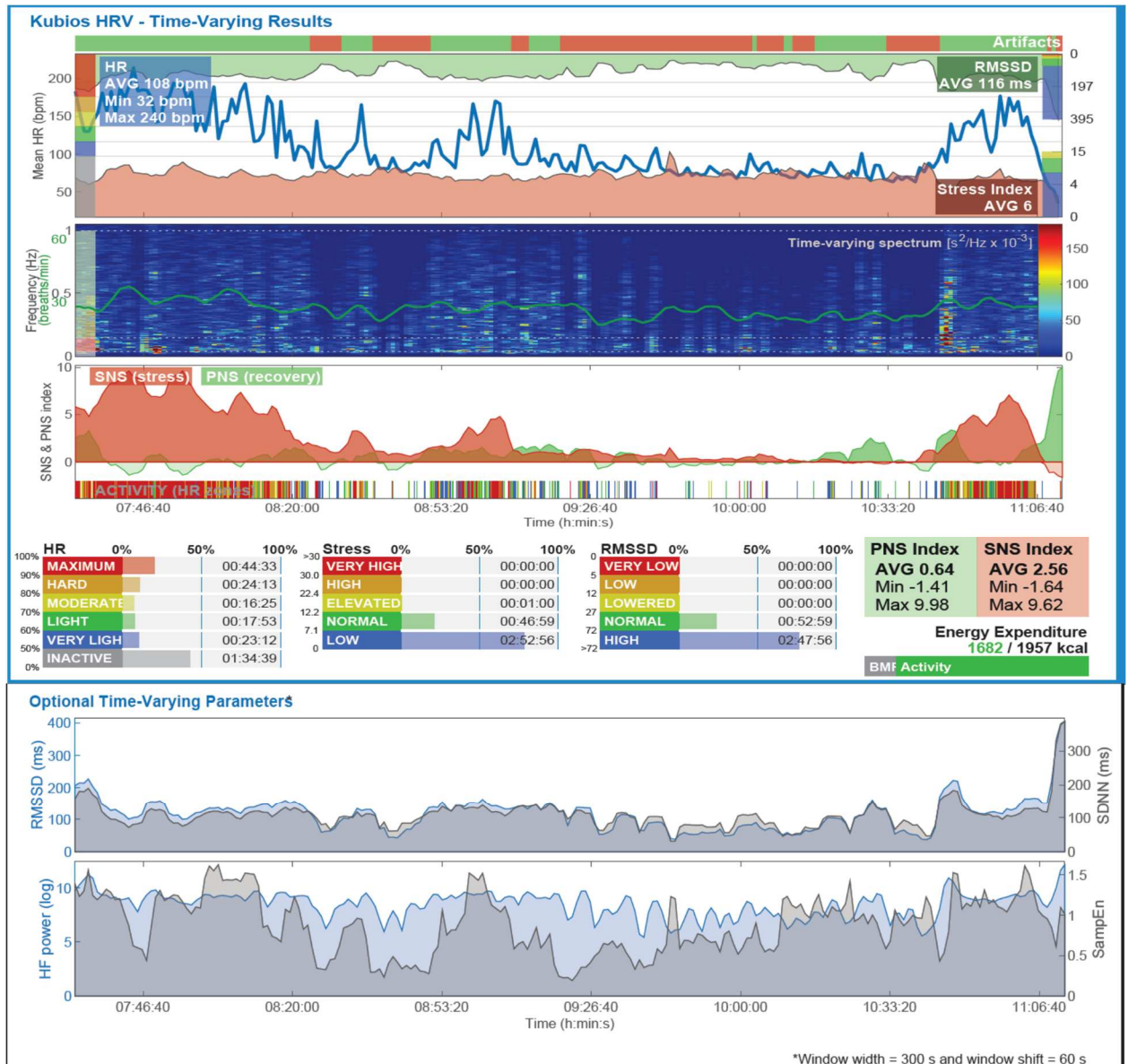


Abbildung 16: Ergebnisdarstellung im Zeitbereich für die gesamten Abschnitte 1-4 (Sample 1-4) (Kubios HRV Analysis Software 3.1)

Diese Übersicht zeigt einen Vergleich zwischen den HRV-Parametern des ausgewählten Analysesegments und den normalen Ruhewerten auf Grundlage der Untersuchungen von NUAN et al. (2010). In der vorliegenden Arbeit wurden diese menschlichen Ruhewerte, die zur Berechnung des Index herangezogen wurden, nicht durch die Ruhewerte von Rindern ersetzt. Dieser Umstand wird später noch diskutiert.

In Kubios HRV werden die Ergebnisse des parasympathischen Nervensystems (PNS) und sympathischen Nervensystems (SNS) als Indizes dargestellt (Abbildung 17).

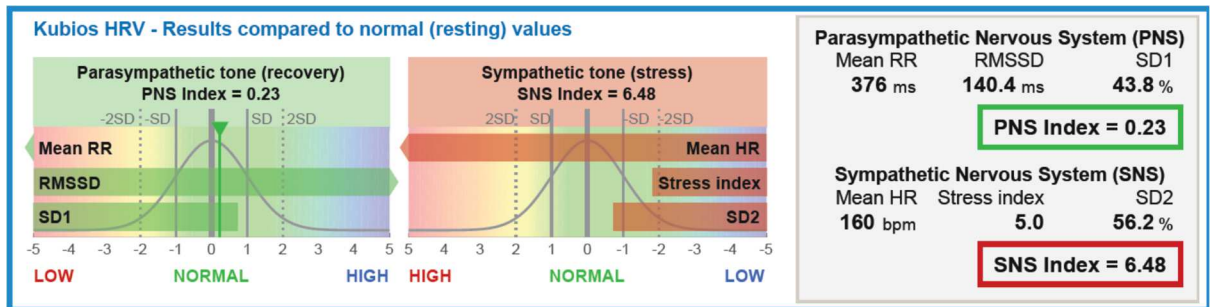


Abbildung 17: Darstellung der Indizes PNS und SNS (Kubios HRV Analysis Software 3.1)

Die Aktivität des PNS senkt die Herzfrequenz, erhöht ihre Variabilität und wird auch unwillkürliches Nervensystem genannt. Sie wird unter anderem durch Acetylcholin beeinflusst und funktioniert als Bremse im Flucht- oder Kampffreflex (TARVAINEN, 2019; SHAFER & GINSBERG, 2019). Der PNS-Index wird auf Grundlage der von Mean RR (ms), RMSSD (ms) und SD1 (%) berechnet (TARVAINEN et al., 2019). Auch die Aktivität des PNS und die Aktivität des SNS werden errechnet, um ein Gesamtmaß der Nervensystemaktivität im Vergleich zu normalen Ruhewerten zu erhalten (TARVAINEN et al., 2018). Das SNS wird auch autonomes Nervensystem genannt und hat den entgegengesetzten Effekt. Es ist zuständig für die Abwehr-Reaktion unter Beeinflussung von Adrenalin und Noradrenalin. Bei einer Ruhephase ist daher der Herzrhythmus am niedrigsten, die Variabilität aber am größten.

Artefaktkorrektur/ Algorithmen

In Kubios HRV gibt es in der Auswertung direkt Informationen zu der durchgeführten Messung, der Methode der Artefakt-Korrektur und dem prozentualen Anteil (Abbildung 18).

Measurement Info		Results for Sample 1/4	
Date:	03/09/19	Trend removal:	Smoothn priors
Start time:	07:31:18	Artefact corr.:	Automatic correction
Duration:	03:41:03	Analysis samples:	4
		Sample start:	07:31:25
		Sample length:	00:48:23
		Artifacts:	1.51 %

Abbildung 18: Informationen zur Messung mit Details zu Artefakten (Kubios HRV Analysis Software 3.1)

Artefakte können zu erheblichen Verzerrungen der Ergebnisse der HRV Analyse führen, so dass alle Artefakte entweder korrigiert oder von der Analyse ausgeschlossen werden sollten (TARVAINEN et al., 2018). Typische Artefakte sind fehlende, extra oder falsch ausgerichtete Schläge oder andere vorzeitige Arrhythmien. Die Software Kubios HRV beinhaltet zwei Methoden zur Korrektur von Artefakten und ein fortgeschrittenes Detrending-Verfahren. Die Erste ist die schwellenwertbasierte Korrektur, bei der jedes RR-Intervall mit einem durchschnittlichen Schwellenwert verglichen wird und dann Korrekturen vorgenommen werden. Die zweite Methode, die in dieser Arbeit Anwendung findet, ist die automatische Korrektur, bei der Artefakte aus einer Zeitreihe erkannt werden, indem dRR-Intervalle (detrending RR Intervall) mit Hilfe eines Entscheidungsalgorithmus verglichen werden (LIPPONEN & TARVAINEN, 2019). Diese Möglichkeit bietet ein robustes Verfahren, um ektopische und falsch platzierte Schläge vom normalen Sinusrhythmus zu trennen. Um ektopische und normale Schläge zu unterscheiden, wird eine zeitvariable Schwelle (T_h) verwendet (LIPPONEN & TARVAINEN, 2019). Nachfolgend wird eine Schwelle aus der zeitlich variierenden Verteilung von dRR-Werten geschätzt, um eine Anpassung an unterschiedliche HRV-Werte zu erzielen. Für jeden Schlag wird die Quartilsabweichung der 90 umgebenden Schläge berechnet. Schläge innerhalb dieses Bereiches decken 99,95% aller Schläge ab, wenn die dRR-Reihe der Normalverteilung unterliegt. Allerdings sind RR-Intervallreihen selten normalverteilt, daher überschreiten einige der normalen Schläge den Schwellenwert. Bei einer Überschreitung kommt der Entscheidungsalgorithmus zum Einsatz, um die Artefakte zu erkennen

(LIPPONEN & TARVAINEN, 2019). Ektopische Schläge bilden negativ-positiv-negative (NPN) oder positiv-negativ-positiv (PNP) Muster der RR-Reihe. Ähnlich lange Schläge bilden positiv-negativ (PN) oder kurze Schläge negativ-positiv (NP) Muster für die dRR Reihe. Nur dRR-Segmente, die diese Muster Enthalten werden als Artefaktschläge klassifiziert. Ausgelassene oder zusätzliche Schläge werden erkannt, indem der aktuelle RR-Wert mit dem Median der zehn umgebenden RR-Intervalle (medRR) verglichen wird. Ein ausgelassener Schlag wird erfasst, wenn das aktuelle RR-Intervall (RR(i)) die Bedingungen erfüllt und ein zusätzlicher Schlag detektiert wird, wenn zwei aufeinanderfolgende RR-Intervalle (RR(i) und RR(i+1)) die Bedingung erfüllen.

$$\left| \frac{RR(i)}{2} - \text{medRR}(i) \right| < 2Th \quad \rightarrow \quad \left| RR(i) + RR(i+1) - \text{medRR}(i) \right| < 2Th$$

Veränderte RR-Zeiten werden durch interpolierte RR-Werte ersetzt und dadurch ektopische Schläge korrigiert. Auch zu lange und zu kurze Schläge werden berichtigt, indem neue Werte in die Zeitreihe interpoliert werden.

Neben Artefakten können langsame Änderungen der mittleren HF während der Detektion unerwünschte Auswirkungen auf bestimmte Analyseparameter haben. Um eine weitere Beeinflussung der HRV Ergebnisse durch solche Trends zu vermeiden, benutzt die Software Kubios HRV die Smoothness-Prior-Methode, um solche Effekte zu entfernen. Diese Detrending Methode funktioniert wie ein zeitvariabler Hochpassfilter, bei dem die Grenzfrequenz durch Veränderung des Glättungsparameters angepasst werden kann. In Kubios HRV ist dieser Parameter standardmäßig ausgewählt, um nur VLF Frequenzkomponenten aus der RR-Zeitreihe zu entfernen (LIPPONEN & TARVAINEN, 2019).

5. Statistische Analyse

*Ermittlung der potenziellen Stichprobengröße für diesen Versuch mit G*Power*

Vor der Untersuchung wurde versucht, das Maß für eine möglichst aussagekräftige Studie zu finden, um den damit verbundenen Aufwand abzuschätzen. Zu diesem Zweck wurde ein kostenloses Tool der Universität Düsseldorf, G*Power (Version 3.1), verwendet, was hilft, die Mindeststichprobengröße für ein bestimmtes statistisches Analyseverfahren zu ermitteln. Die Art der Hypothese bestimmt die Untersuchungsmethode und so werden in dieser Arbeit Unterschiedshypothesen und Veränderungshypothesen geprüft, das heißt, dass Mittelwertvergleiche zwischen zwei unabhängigen Gruppen (über die Zeit) gerechnet werden können. In diesem Zusammenhang spricht man auch von der Teststärke oder statistischer Power, die die Fähigkeit eines Tests beschreibt, einen in der Stichprobe tatsächlich vorhandenen Effekt erkennen zu können. Die Teststärke (Power) errechnet sich aus 1 abzüglich des Betafehlers, wobei der Betafehler das fälschliche Beibehalten der Nullhypothese ausdrückt. Der Betafehler wird auch als Fehler 2. Art bezeichnet. Eine Untergrenze von 0.8 (80%) ist noch vertretbar, eine geringere Power ist im Vorfeld schwierig zu rechtfertigen. Der Fehler 1. Art ist der Alpha-Fehler, der das fälschliche Ablehnen der Nullhypothese beschreibt. In der Wissenschaft akzeptiert man normalerweise eine Grenze für Alpha von 5% ($p < 0.05$), das heißt, es wird eine maximale Alpha-Fehlerwahrscheinlichkeit von 5% toleriert. Schließlich ist noch die zu erwartende Effektstärke a priori zu bestimmen. Diese kann aus vergleichbaren Studien oder Erfahrungswerten abgeleitet werden und ist die maßgebliche Determinante für die resultierende Mindeststichprobengröße. Hier wird sich an den Vorgaben nach Cohen (1992) orientiert, da es leider nicht möglich war, eine Vergleichsstudie zu finden, die alle Teilbereiche näherungsweise abbildet.

Das Resultat zur Ermittlung der statistischen Power für diese Untersuchung übertrifft mit 269 zu messenden Rindern den Rahmen des Machbaren, daher wird sich im Folgenden auf die Effektstärke konzentriert.

Rohdatenverarbeitung

Die Rohdaten des Zephyr BioHarness 3 werden in der vorliegenden Arbeit, wie bereits erwähnt, auf zwei Arten verarbeitet. Zum einen wird mit der Software Kubios HRV Premium das EKG Signal aufgegriffen, eine Artefakte-Korrektur durchgeführt und eine Vielzahl von Herzparametern abgeleitet. Diese dienen bei der späteren Statistik in der Statistiksoftware R (Version 4.2.2; Universität Auckland, Neuseeland) und Statistical Analysis System 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) als Grundlage für die Untersuchung der voranstehenden Hypothesen. Zum anderen werden die physiologischen und Verhaltens-Rohdaten manuell auf Artefakte geprüft und in Excel transformiert. Die statistische Auswertung der physiologischen und der Verhaltensparameter findet wiederum in R (Version 4.2.2) statt.

Statistik in R

Für diesen Mittelwertvergleich werden jeweils 2 Einflussfaktoren (Transport: 2 Ebenen; und Abschnitte: 4 Ebenen) und eine Interaktion auf eine abhängige Variable geprüft. Außerdem wurde die tierische Identität als Zufallseffekt aufgenommen, um wiederholte Messungen zu berücksichtigen. Zuerst erfolgt die Prüfung der Voraussetzungskriterien, der metrisch skalierten Daten, der Normalverteilung je Faktorkombination und der Varianzhomogenität. Zur Testung auf Varianzhomogenität der Stichprobe wird der Levene Test durchgeführt, da sonst eine Grundvoraussetzung der Varianzanalyse verletzt wäre, was sich besonders bei kleinen und ungleich verteilten Gruppen verzerrend auswirken könnte. Die ANOVA ist zwar in diesem Fall als robust anzusehen, allerdings sind die Gruppengrößen in der vorliegenden Arbeit ungleich, im Verhältnis 2:1, folglich müssen die Varianzen in etwa gleich und Normalverteilung gegeben sein. Das Vertrauen in den Levene-Test ist aufgrund der kleinen Stichprobe und daraus resultierender geringer Teststärke und einer folglich hohen Beta-Fehlerwahrscheinlichkeit nicht gegeben. Demzufolge kann das Vorliegen von Varianzheterogenität nicht ausgeschlossen werden. Die einzige Möglichkeit für diese Problematik spiegelt die dauerhaft robuste bzw. nicht parametrische Variante der ANOVA wider. Die robuste ANOVA arbeitet mit sogenannten getrimmten Mittelwerten, das bedeutet den Ausschluss von x Prozent oberen und x Prozent unteren Messungen. In Verbindung mit der geringen Anzahl an Stichproben und

der dann noch weiter sinkenden statistischen Power erscheint dieses Vorgehen nicht praktikabel. Daher kommt als Lösung schließlich die **nicht parametrische ANOVA** in Frage (WOBBROCK et al., 2011).

Nach weiteren post-hoc Tests und Alpha-Fehler-Korrekturen erfolgt die Einstufung der Effektstärke Cohen's d (Abbildung 19). In Ermangelung von Vergleichswerten bzw. fachdisziplinspezifischer Grenzen wird bei Cohen's d ab 0.2 ein schwacher Effekt, ab 0.5 ein mittlerer Effekt und ab 0.8 ein starker Effekt unterstellt (COHEN, 1992).

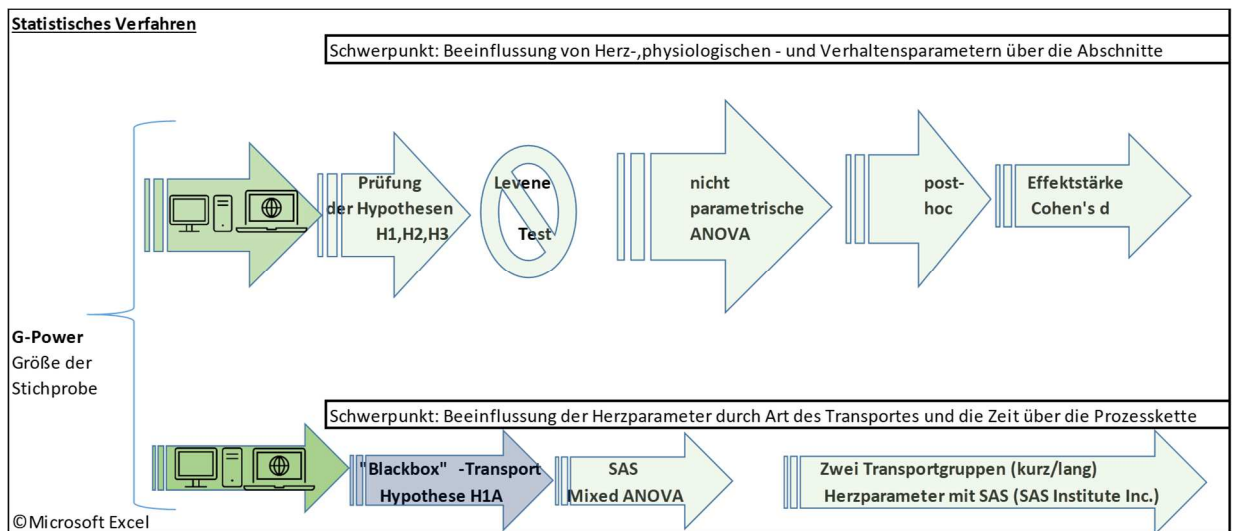


Abbildung 19: Statistische Verfahren

Bei der Berechnung von post-hoc Tests wird für jede Kombination von zwei Mittelwerten ein t-Test durchgeführt. Bei diesen multiplen Tests steigt mit der Anzahl der Vergleiche die Möglichkeit der fälschlichen Ablehnung der Nullhypothese. Diese Wahrscheinlichkeit des Eintreffens des Alpha-Fehlers wird als „familywise error rate“ bezeichnet und liegt bei z.B. 3 Paarvergleichen bei bereits $(0.95)^3 = 0.857$. Um die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens des Alpha-Fehlers zu bestimmen, wird $1 - 0.857 = 0.143$ gerechnet. Die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens des Alpha-Fehlers läge ohne Korrektur somit bei 14,3%. Die Effekte der Faktoren wurden folglich als statistisch signifikant definiert, wenn der errechnete Wert nach Korrektur bei $p < 0.05$ lag. Um das Problem der „familywise error rate“ zu beheben, wurde die Tukey-Korrektur angewandt. Zur Beurteilung der Effektstärke wurde sich an Cohen (1992) orientiert.

Statistische Auswertung der zwei Transportentfernungen (kurz/lang) anhand der Herzparameter mit SAS

Die EKG- und pH-Daten wurden unter Verwendung von Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmont, WA, USA) aufbereitet und statistische Analysen mit der Software Statistical Analysis System 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durchgeführt. Um Berechnungen zu erleichtern und die Datenmenge zu reduzieren, wurden die physiologischen Werte zuvor pro Tier in 5 Minuten-Segmente gemittelt. Die Parameter werden für die jeweiligen Abschnitte ausgewertet: 1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, und 4-Betäubung/Entblutung. Für den Transport (Abschnitt 2) wurden nur die ersten 10 bis 50 Minuten für jede Transportentfernung analysiert (durchschnittliche Dauer des kurzen Transportes). Der Durchschnittswert der ersten 5 Minuten wurde weggelassen, da der Abschnitt 1 (Beladen des LKW) vermutlich noch die Werte beeinflussen könnte. Dann wurde der Durchschnittswert der zweiten 5 Minuten des Transportes von allen Durchschnittswerten eines Tieres abgezogen, um den tierspezifischen Grundwert zu entfernen.

Um die Auswirkungen des Tiertransports auf dem Weg zum Schlachthof durch physiologische Parameter zu bewerten und die Auswirkungen auf die Fleischqualität zu untersuchen, wurden lineare Mixed-Effekt-Modelle verwendet, wobei mehrere Vergleiche mit der LSMEANS-Anweisung durchgeführt wurden. Zu diesem Zweck wurden die kleinsten quadratischen Mittelwerte (engl. Least Square Means, LSM) geschätzt und die Unterschiede im LSM auf Signifikanz getestet ($p < 0.05$). Statistische Annahmen wurden anhand einer grafischen Analyse der Residuen überprüft, die sich auf die Normalverteilung und die Homoskedastizität der Fehler der Modelle konzentrierten. Die studentisierten Residuen wurden zusätzlich mit dem Univariate-Verfahren auf Normalität getestet.

Das MIXED-Verfahren wurde auch zur Untersuchung der Mittelwerte der Herzparameter (Mittelwert der RR Intervalle, Mittlere Herzfrequenz, SDNN, RMSSD, pNN50, SI, LF/HF-Ratio, EDR, SD1, SD2, SD2/SD1-Ratio, DFA a1, DFA a2, PNS, SNS), sowohl für die Transportentfernung als auch während der gesamten Produktionskette bei allen 4 Abschnitten (Verladung, die ersten 10 bis 50 min des Transports, Entladung/Zutrieb und Betäubung/Entblutung) verwendet und mit dem Tukey-Kramer-Test für mehrere Vergleiche bearbeitet. Nach Bedarf wurden Daten im Modell protokolltransformiert, um

statistische Annahmen über die Verteilung der Residuen (Normalität und Homoskedastizität) zu erfüllen. Varianzkomponenten wurden mit der Restricted Maximum Likelihood (REML)-Methode geschätzt. Für jeden der 4 Abschnitte umfasste das Modell die Transportentfernung (Weg), (Faktor mit zwei Ebenen: Kurzstreckentransport und Langstreckentransport), die Abschnittsdauer (Dauer) (Faktor mit zwei bis vier Stufen: in 5 Min. Abschnitte) und deren Wechselwirkungen (Weg*Dauer) als feste Effekte. Die tierische Identität wurde als Zufallseffekt aufgenommen, um wiederholte Messungen zu berücksichtigen. In Abschnitt 1 wurde aufgrund der kurzen Zeit (< 5 Minuten) die zum Verladen der Tiere für den Kurzstreckentransport benötigt wurde, nur die Wechselwirkung abgeschätzt.

Das MIXED-Verfahren wurde verwendet, um die pH-Werte bei 1 Std. und 24 Std. nach der Schlachtung und den pH-Unterschied zwischen 1 Std. und 24 Std. zu untersuchen. Für jeden Zeitpunkt und die Differenz umfasste das Modell die Transportentfernung (Faktor mit zwei Ebenen: Kurzstreckentransport und Langstreckentransport) als festen Effekt und die tierische Identität als Zufallseffekt.

III. ERGEBNISSE DER EMPIRISCHEN UNTERSUCHUNG

1. Physiologische Parameter

Nachfolgend befinden sich Übersichten der Mittelwerte und Standardabweichungen aller untersuchter Rinder zu den 4 Abschnitten (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung).

1.3. Herzparameter unter dem Einfluss der Transportentfernung, den 4 Abschnitten und deren Wechselwirkung

Mittlere Herzfrequenz

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **mittleren Herzfrequenz**, unterteilt nach Transportabschnitt und Transportdauer sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Mittlere Herzfrequenz (HR) über die 4 Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	HR	10	108.76	35.61
1	Lang	HR	5	133.71	22.94
2	Kurz	HR	10	111.89	34.97
2	Lang	HR	5	142.59	37.32
3	Kurz	HR	10	89.36	21.96
3	Lang	HR	5	125.80	38.44
4	Kurz	HR	10	129.45	29.65
4	Lang	HR	5	137.19	30.57

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 4 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter mittlere Herzfrequenz sind den Boxplots in Abbildung 20 zu entnehmen.

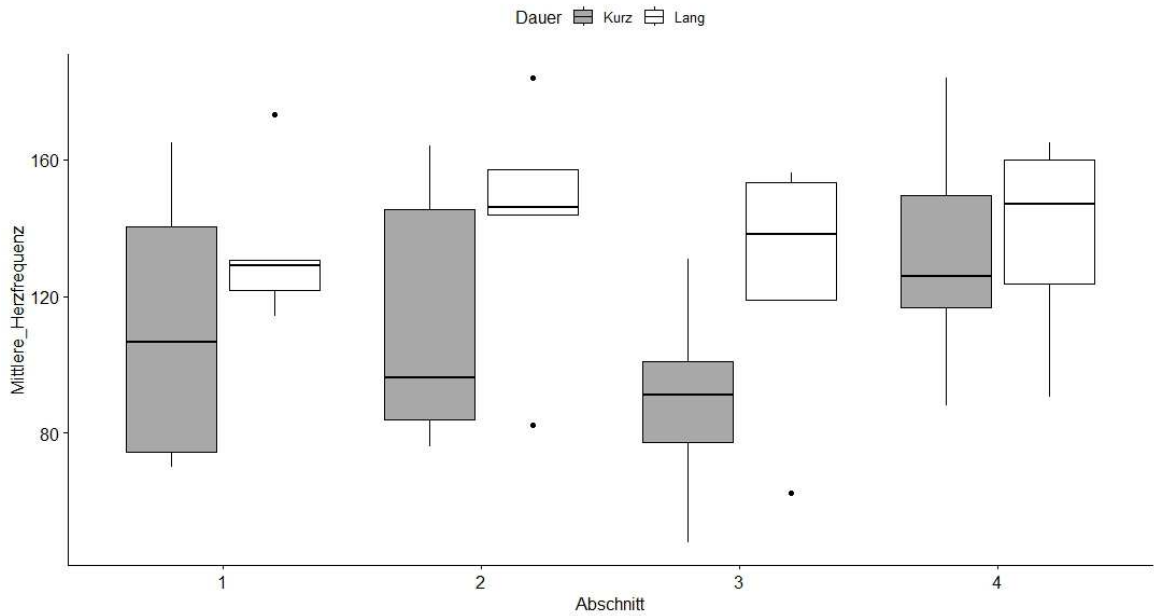


Abbildung 20: Mittlere Herzfrequenz (bpm) über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.

Der Interaktionseffekt (Transportdauer*4 Abschnitte) zeigt sich im Rahmen der durchgeführten mixed ANOVA nicht signifikant bezüglich der **mittleren Herzfrequenz** mit $F(3,38) = 0.70$; $p = 0.56$. Der Faktor Transportdauer zeigte sich auch nicht signifikant bezüglich der mittleren Herzfrequenz mit $F(1,13) = 4.47$; $p = 0.05$. Schließlich zeigte sich der Faktor Zeit, gemessen in 4 Abschnitten ebenfalls nicht signifikant bezüglich der mittleren Herzfrequenz mit $F(3,38) = 2.53$; $p = 0.07$. (Abbildung 20)

Mittelwert der RR-Intervalle

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **Mittelwerte der RR-Intervalle**, unterteilt nach Transportabschnitt und Transportdauer sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Mittelwert der RR-Intervalle über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	RR	10	609.27	198.34
1	Lang	RR	5	457.89	67.47
2	Kurz	RR	10	581.43	162.17
2	Lang	RR	5	452.97	158.73
3	Kurz	RR	10	717.05	215.42
3	Lang	RR	5	526.17	250.55
4	Kurz	RR	10	486.49	115.98
4	Lang	RR	5	458.86	123.55

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 5 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter Mittelwerte der RR-Intervalle sind den Boxplots in Abbildung 21 zu entnehmen.

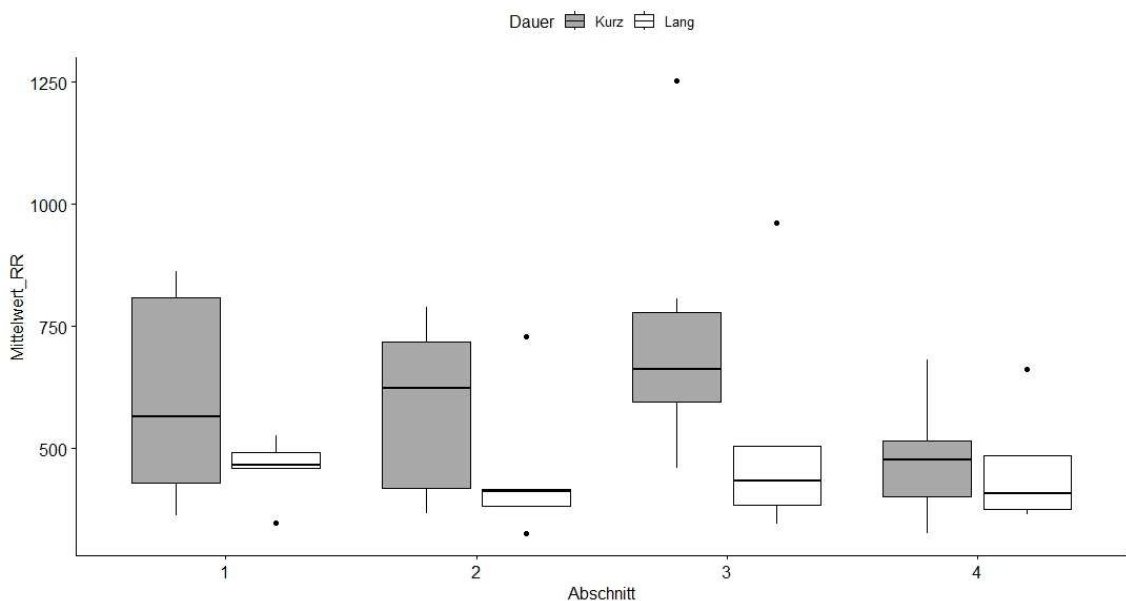


Abbildung 21: Mittelwerte der RR-Intervalle (ms) über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.

Der Interaktionseffekt (Transportdauer* 4 Abschnitte) zeigt sich im Rahmen der durchgeführten mixed ANOVA nicht signifikant bezüglich der **Mittelwerte der RR-Intervalle** mit $F(3,38) = 1.36$; $p = 0.27$. Der Faktor Transportdauer (lang/kurz) zeigte sich allerdings signifikant bezüglich der Mittelwerte der RR-Intervalle mit $F(1,13) = 5.36$; $p = 0.04$ [$d = 0.97$]. Die Mittelwerte der RR-Intervalle sind folglich bei der Gruppe von Rindern mit kurzer Transportdauer über die gesamte Zeit hinweg signifikant höher. Die Effektstärke hierfür lässt auf einen großen Unterschied schließen (COHEN, 1992). Der Faktor Zeit, gemessen in 4 Abschnitten, zeigte sich ebenfalls signifikant bezüglich der Mittelwerte der RR-Intervalle mit $F(3,38) = 2.92$; $p = 0.05$. Für diesen Faktor wurden entsprechend post-hoc-Tests durchgeführt. Lediglich zwischen Abschnitt 3 ($M_{K3} = 717.05$, $M_{L3} = 526.17$, $SD_{K3} = 215.42$, $SD_{L3} = 250.55$) und 4 ($M_{K4} = 486.49$, $M_{L4} = 458.86$, $SD_{K4} = 115.98$, $SD_{L4} = 123.55$) gibt es mit p-Wert-Korrektur nach Tukey einen Unterschied $t(38) = 2.91$; $p = 0.03$, $d = 1.13$. Die Mittelwerte der RR-Intervalle sind folglich im Abschnitt 3 signifikant höher als im Abschnitt 4. Die Effektstärke hierfür zeigt, dass es sich um einen großen Unterschied handelt (COHEN, 1992). (Abbildung 21)

SDNN

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **SDNN**, unterteilt nach Transportabschnitt und Transportentfernung sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: SDNN über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	SDNN	10	232.01	125.52
1	Lang	SDNN	5	282.35	67.31
2	Kurz	SDNN	10	138.87	69.22
2	Lang	SDNN	5	134.91	31.42
3	Kurz	SDNN	10	169.26	133.10
3	Lang	SDNN	5	156.38	22.71
4	Kurz	SDNN	10	182.82	56.61
4	Lang	SDNN	5	196.88	48.34

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 6 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter SDNN sind den Boxplots in Abbildung 22 zu entnehmen.

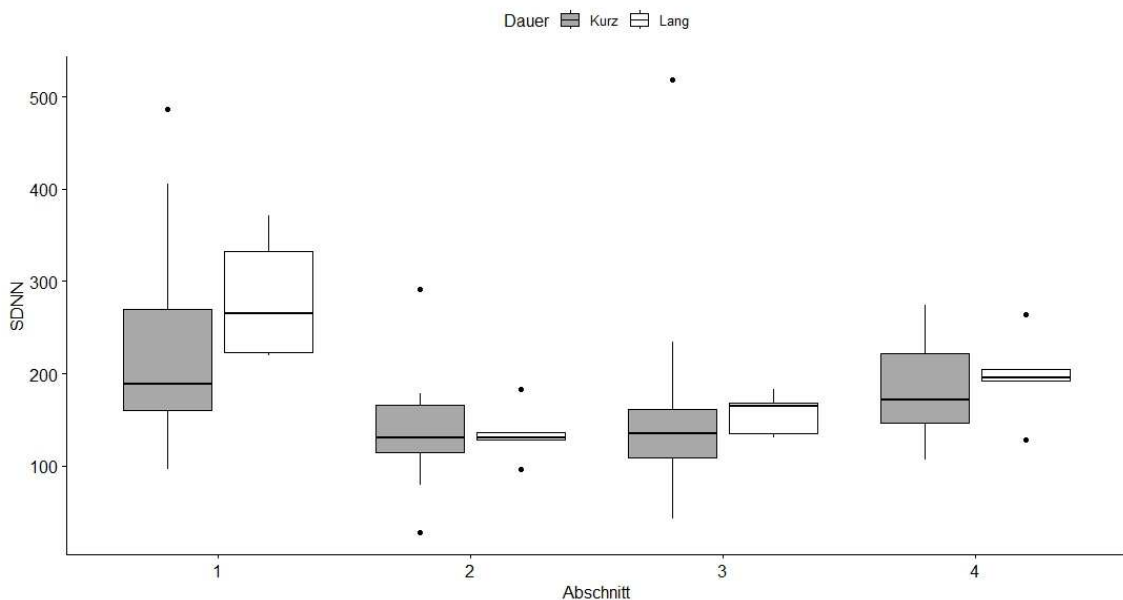


Abbildung 22: SDNN (ms) über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das

Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung*4 Abschnitte) zeigt sich für die durchgeführte mixed ANOVA nicht signifikant bezüglich der **SDNN** mit $F(3,38) = 1.29$; $p = 0.29$. Der Faktor Transportentfernung (lang/kurz) zeigte sich ebenfalls nicht signifikant bezüglich der SDNN mit $F(1,13) = 1.48$; $p = 0.25$. Schließlich zeigte sich allerdings der Faktor Zeit, gemessen in 4 Abschnitte signifikant bezüglich der SDNN mit $F(3,38) = 7.77$; $p < 0.001$. Für diesen Faktor wurden entsprechend post-hoc-Tests durchgeführt. Lediglich zwischen Abschnitt 1 ($M_{K1} = 232.01$, $M_{L1} = 282.35$, $SD_{K1} = 125.52$, $SD_{L1} = 67.31$) und 2 ($M_{K2} = 138.87$, $M_{L2} = 134.91$, $SD_{K2} = 69.22$, $SD_{L2} = 31.42$), Abschnitt 1 ($M_{K1} = 232.01$, $M_{L1} = 282.35$, $SD_{K1} = 125.52$, $SD_{L1} = 67.31$) und 3 ($M_{K3} = 169.26$, $M_{L3} = 156.38$, $SD_{K3} = 133.10$, $SD_{L3} = 22.71$) und Abschnitt 2 ($M_{K2} = 138.87$, $M_{L2} = 134.91$, $SD_{K2} = 69.22$, $SD_{L2} = 31.42$) und 4 ($M_{K4} = 182.82$, $M_{L4} = 196.88$, $SD_{K4} = 56.61$, $SD_{L4} = 48.34$) gibt es mit p-Wert-Korrektur nach Tukey einen Unterschied $t_{1-2}(38) = 4.55$; $p < 0.001$, $d_{1-2} = 1.77$; $t_{1-3}(38) = 3.33$; $p = 0.01$, $d_{1-3} = 1.30$ und $t_{2-4}(38) = -2.78$; $p = 0.04$, $d_{2-4} = 1.08$.

Die Effektstärken zeigen jeweils, dass es sich um große Unterschiede handelt (COHEN, 1992). (Abbildung 22)

RMSSD

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **RMSSD**, unterteilt nach Transportabschnitt und Transportentfernung sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 7: RMSSD über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	RMSSD	10	281.86	123.78
1	Lang	RMSSD	5	205.26	48.78
2	Kurz	RMSSD	10	143.89	89.62
2	Lang	RMSSD	5	154.43	37.54
3	Kurz	RMSSD	10	157.17	145.71
3	Lang	RMSSD	5	201.95	88.36
4	Kurz	RMSSD	10	196.68	74.53
4	Lang	RMSSD	5	217.08	128.13

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 7 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter RMSSD sind den Boxplots in Abbildung 23 zu entnehmen.

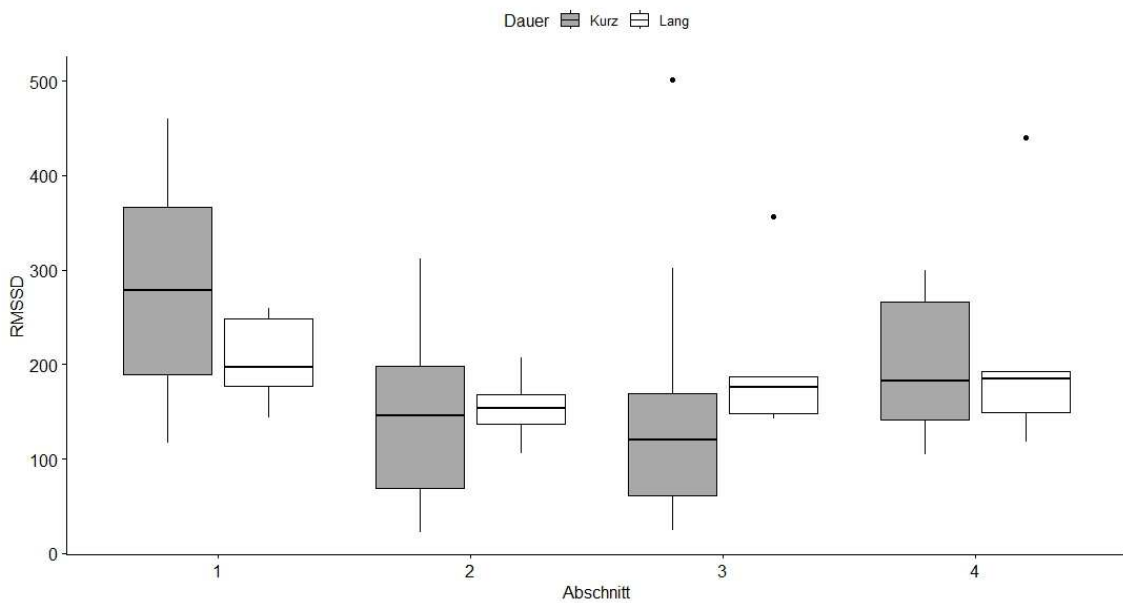


Abbildung 23: RMSSD (ms) über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung* 4 Abschnitte) zeigt sich für die durchgeführte mixed ANOVA nicht signifikant bezüglich der **RMSSD** mit $F(3,38) = 1.50$; $p = 0.23$. Der Faktor Transportentfernung (lang/kurz) zeigte sich ebenfalls nicht signifikant bezüglich der RMSSD mit $F(1,13) = 0.4$, $p = 0.85$. Der Faktor Zeit, gemessen in 4 Abschnitten zeigte sich allerdings signifikant bezüglich der RMSSD mit $F(3,38) = 4.66$; $p = 0.007$. Für diesen Faktor wurden entsprechend post-hoc-Tests durchgeführt. Lediglich zwischen Abschnitt 1 ($M_{K1} = 281.86$, $M_{L1} = 205.26$, $SD_{K1} = 123.78$, $SD_{L1} = 48.78$) und 2 ($M_{K2} = 143.89$, $M_{L2} = 154.43$, $SD_{K2} = 89.62$, $SD_{L2} = 37.54$), Abschnitt 1 ($M_{K1} = 281.86$, $M_{L1} = 205.26$, $SD_{K1} = 123.78$, $SD_{L1} = 48.78$) und 3 ($M_{K3} = 157.17$, $M_{L3} = 201.95$, $SD_{K3} = 145.71$, $SD_{L3} = 88.36$) und gibt es mit p-Wert-Korrektur nach Tukey einen Unterschied $t_{1-2}(38) = 3.38$; $p = 0.009$, $d_{1-2} = 1.32$ und $t_{1-3}(38) = 3.03$; $p = 0.02$, $d_{1-3} = 1.18$. Die Effektstärken hierfür zeigen, dass es sich um große Unterschiede handelt (COHEN, 1992). (Abbildung 23)

LF/HF Ratio

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **LF/HF Ratio**, unterteilt nach Transportabschnitt und Transportentfernung sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: LF/HF Ratio über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	LF/HF Ratio	10	0.82	0.58
1	Lang	LF/HF Ratio	5	0.98	0.39
2	Kurz	LF/HF Ratio	10	0.61	0.18
2	Lang	LF/HF Ratio	5	0.61	0.25

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
3	Kurz	LF/HF Ratio	10	0.88	0.53
3	Lang	LF/HF Ratio	5	0.72	0.18
4	Kurz	LF/HF Ratio	10	0.63	0.48
4	Lang	LF/HF Ratio	5	0.42	0.31

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 8 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter LF/HF Ratio sind den Boxplots in Abbildung 24 zu entnehmen.

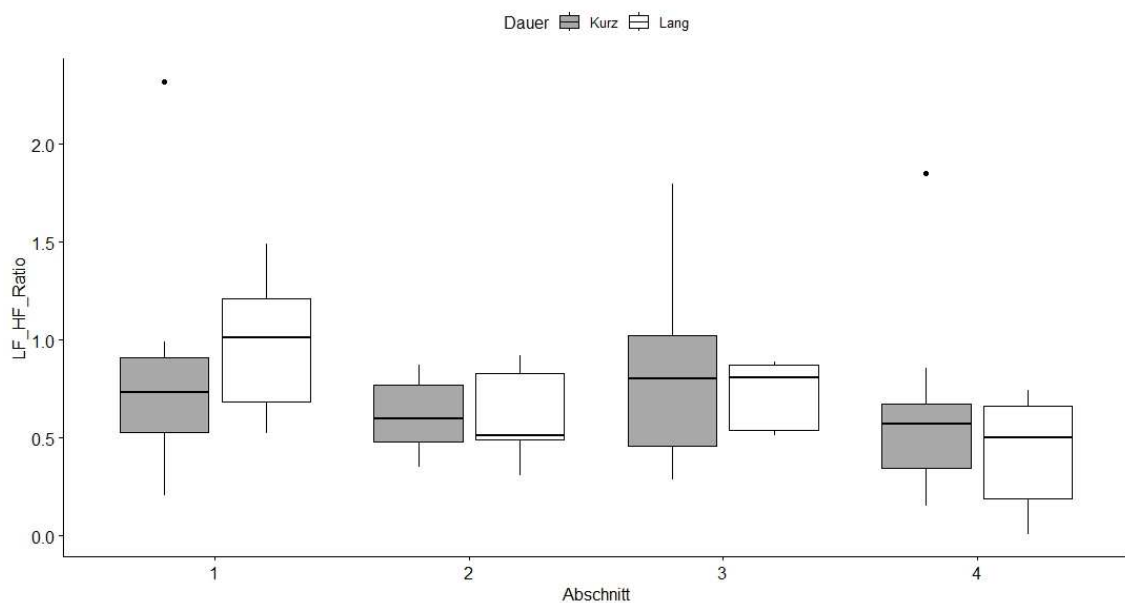


Abbildung 24: LF/HF Ratio über die 4 Abschnitte (1-Verladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb, 4-Betäubung/Entblutung) und unterteilt in den kurzen und langen Transport. Boxplots zeigen den Median sowie das untere und obere Quartil. Das Maximum und das Minimum werden durch die Whisker dargestellt, während die einzelnen Punkte Extremwerte darstellen.

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung*4 Abschnitte) zeigt sich im Rahmen der durchgeführten mixed ANOVA nicht signifikant bezüglich der **LF/HF Ratio** mit $F(3,38) = 0.89$; $p = 0.45$. Der Faktor Transportentfernung (lang/kurz) zeigt sich ebenfalls nicht signifikant bezüglich der LF/HF Ratio mit $F(1,13) = 0.50$, $p = 0.83$. Der Faktor Zeit, gemessen in Abschnitten, zeigt sich allerdings signifikant bezüglich der LF/HF Ratio mit $F(3,38) =$

3.46; $p = 0.03$. Für diesen Faktor wurden entsprechend post-hoc-Tests durchgeführt. Nach der p-Wert-Korrektur nach Tukey konnten jedoch keine paarweisen signifikanten Unterschiede mehr erkannt werden. (Abbildung 24)

1.4. Herzparameter unter dem Einfluss der Transportentfernung, der Abschnittsdauer und deren Wechselwirkungen

Um die Tiere mit unterschiedlicher Transportentfernung und Abschnittsdauer zu vergleichen, wurden die Auswirkungen der **Abschnittsdauer (Dauer), Transportentfernung (Weg) oder deren Wechselwirkung** schon in Abschnitt 1 (Verladung) gemessen.

In Abschnitt 1 (Verladung) zeigt für die durchgeführte mixed ANOVA für den Weg (Entfernung) keinen Einfluss auf die Herzparameter Mittelwerte ($p \geq 0.1$; Tabelle 9).

Tabelle 9: Herzparameter (MW \pm SD) und statistische Informationen bei kurzem und langem Transport in Abschnitt 1 (Verladung)

	Kurz MW \pm SD	Lang MW \pm SD	p Weg(W)
Zeitbereich			
Mittelwert der RR Intervalle (ms)	609.27 \pm 198.34	457.89 \pm 67.47	0.440
Mittlere Herzfrequenz (bpm)	108.76 \pm 35.61	133.71 \pm 22.94	0.210
SDNN (ms)	232.01 \pm 125.52	282.35 \pm 67.31	0.370
RMSSD (ms)	281.86 \pm 123.78	205.26 \pm 48.78	0.400
pNN50 (%)	65.42 \pm 17.53	95.63 \pm 62.16	0.100
SI (Stress- Index)	2.86 \pm 0.83	3.73 \pm 1.24	0.240
Frequenzbereich			
LF/HF Ratio	0.82 \pm 0.58	0.98 \pm 0.39	0.310
EDR (Hz)	0.30 \pm 0.14	0.34 \pm 0.07	0.840
Nicht lineare Ergebnisse			
SD1 (ms)	199.55 \pm 83.36	145.18 \pm 30.85	0.400
SD2 (ms)	291.15 \pm 145.32	228.59 \pm 59.03	0.360
SD2/ SD1 Ratio	1.44 \pm 0.23	1.56 \pm 0.23	0.530
DFA a1	0.86 \pm 0.18	0.88 \pm 0.08	0.390
DFA a2	0.55 \pm 0.09	0.63 \pm 0.19	0.280
Index			
PNS	5.36 \pm 3.68	2.61 \pm 1.52	0.430
SNS	2.01 \pm 2.73	3.99 \pm 1.98	0.180

SDNN (SD der RR-Intervalle), RMSSD (Quadratwurzel aus den quadrierten Mittelwerten der Summe aller Differenzen aufeinander folgender RR Intervalle), pNN50 (Prozentsatz der aufeinanderfolgenden RR-Intervalle mit mehr als 50 ms Abweichung), LF/HF-Ratio (Balance des autonomen Nervensystems), EDR (EKG abgeleitete Atmung), SD (Senkrecht zur Identitätslinie und entlang der Identitätslinie), DFA (Fluktuationsanalyse und Fluktuationsneigung), PNS (Index parasymphathisches Nervensystem), SNS (Index sympathisches Nervensystem)

In Abschnitt 2 (bezugnehmend auf die ersten 10 bis 50 min des Transportes) zeigen für die durchgeführte mixed ANOVA weder die Abschnittsdauer (Dauer) noch die Transportentfernung einen Einfluss auf die Mittelwerte sämtlicher Herz-Parameter. Nur die Weg \times Dauer Wechselwirkungen der Mittelwerte der RR-Intervalle, mittlere Herzfrequenz, pNN50, LF/HF Ratio, SD2/SD1 Ratio, DFA a1, DFA a2 und SNS hatten eine Auswirkung (Tabelle 10). Nach der Anpassung durch Tukey-Kramer war jedoch dieser Effekt nur noch bei den Weg \times Dauer Wechselwirkungen von pNN50 ($p = 0.036$) mit einer Erhöhung

in Minute 10 bis 15 min im Vergleich zu den Minuten 40 bis 45 bei kurzem Transport (LMS \pm SE: -1.8576 ± 8.88 ms vs. -24.30 ± 8.88 ms), SD2/SD1 Ratio ($p = 0.041$) mit einer Reduzierung in Minute 10 bis 15 min im Vergleich zu den Minuten 45 bis 50 bei kurzem Transport (LMS \pm SE: -0.08 ± 0.68 ms vs. 1.35 ± 0.71 ms), DFA a2 ($p = 0.027$) mit einer Erhöhung in Minute 10 bis 15 min im Vergleich zu den Minuten 40 bis 45 bei langem Transport (LMS \pm SE: 0.05 ± 0.06 ms vs. -0.12 ± 0.06 ms) zu beobachten (Tabelle 10).

Tabelle 10: Herzparameter (MW \pm SD) und statistische Informationen bei kurzem und langem Transport in Abschnitt 2 (ersten 10 bis 50 min des Transportes)

	Kurz MW \pm SD	Lang MW \pm SD	p		
			Dauer (D)	Weg (W)	W*D
Zeitbereich					
Mittelwert der RR Intervalle (ms)	581.43 \pm 162.17	452.97 \pm 158.73	0.830	0.193	<i>0.002</i>
Mittlere Herzfrequenz (bpm)	111.89 \pm 34.97	142.59 \pm 37.32	0.787	0.120	<i>0.002</i>
SDNN (ms)	138.87 \pm 69.22	134.91 \pm 31.42	0.150	0.670	0.802
RMSSD (ms)	143.89 \pm 89.62	154.43 \pm 37.54	0.374	0.420	0.123
pNN50 (%)	48.94 \pm 21.62	75.67 \pm 27.03	0.970	0.163	<i>*0.001</i>
SI (Stress-Index)	5.05 \pm 2.47	3.99 \pm 0.84	0.520	0.340	0.690
Frequenzbereich					
LF/HF Ratio	0.61 \pm 0.18	0.61 \pm 0.25	0.630	0.230	<i>0.008</i>
EDR (Hz)	0.31 \pm 0.13	0.43 \pm 0.05	0.870	0.680	0.310
Nicht lineare Ergebnisse					
SD1 (ms)	101.78 \pm 60.13	109.20 \pm 23.75	0.370	0.420	0.124
SD2 (ms)	136.94 \pm 75.85	145.22 \pm 31.09	0.120	0.797	0.910
SD2/ SD1 Ratio	1.46 \pm 0.34	1.34 \pm 0.12	0.940	0.130	<i>*0.001</i>
DFA a1	0.88 \pm 0.19	0.77 \pm 0.07	0.920	0.140	<i>0.001</i>
DFA a2	0.57 \pm 0.10	0.57 \pm 0.03	0.450	0.096	<i>*0.029</i>
Index					
PNS	1.35 \pm 2.34	1.05 \pm 1.27	0.430	0.617	0.540
SNS	2.60 \pm 2.64	4.90 \pm 2.73	0.690	0.126	<i>0.01</i>

SDNN (SD der RR-Intervalle), RMSSD (Quadratwurzel aus den quadrierten Mittelwerten der Summe aller Differenzen aufeinander folgender RR Intervalle), pNN50 (Prozentsatz der aufeinanderfolgenden RR-Intervalle mit mehr als 50 ms Abweichung), LF/HF-Ratio (Balance des autonomen Nervensystems), EDR (ECG abgeleitete Atmung), SD (Senkrecht zur Identitätslinie und entlang der Identitätslinie), DFA (Fluktuationsanalyse und Fluktuationsneigung), PNS (Index parasympathisches Nervensystem), SNS (Index sympathisches Nervensystem). P-Werte < 0.05 vor der Tukey-Kramer-Korrektur, sind fett und kursiv dargestellt und ein zusätzliches * steht für den Effekt nach der Tukey-Kramer-Korrektur.

In Abschnitt 3 (Entladung/Zutrieb) zeigten für die durchgeführte mixed ANOVA weder Abschnittsdauer (Dauer), Transportentfernung (Weg) oder Weg × Dauer Wechselwirkung einen Einfluss auf die Mittelwerte der Parameter, außer bei der Transportentfernung DFA a1 und Weg × Dauer Wechselwirkungen DFA a2 (Tabelle 11). Nach der Tukey-Kramer Anpassung hatte nur noch die Transportentfernung einen Einfluss auf die Mittelwerte DFA a1 ($p = 0.041$) mit einer Erhöhung bei der kurzen Entfernung im Vergleich zur langen Entfernung (LMS \pm SE: 1.12 \pm 0.09 ms vs. 0.82 \pm 0.09 ms).

Tabelle 11: Herzparameter (MW \pm SD) und statistische Informationen bei kurzem und langem Transport in Abschnitt 3 (Entladung/Zutrieb)

	Kurz MW \pm SD	Lang MW \pm SD	p		
			Dauer (D)	Weg (W)	W*D
Zeitbereich					
Mittelwert der RR Intervalle (ms)	717.05 \pm 215.42	526.17 \pm 250.55	0.790	0.246	0.863
Mittlere Herzfrequenz (bpm)	89.32 \pm 21.96	125.80 \pm 38.44	0.970	0.510	0.806
SDNN (ms)	169.26 \pm 133.10	156.38 \pm 22.71	0.710	0.880	0.890
RMSSD (ms)	157.17 \pm 145.71	201.95 \pm 88.36	0.962	0.756	0.662
pNN50 (%)	40.97 \pm 25.11	75.67 \pm 28.44	0.650	0.207	0.890
SI (Stress- Index)	4.70 \pm 2.49	3.65 \pm 0.81	0.977	0.315	0.701
Frequenzbereich					
LF/HF Ratio	0.88 \pm 0.53	0.72 \pm 0.18	0.570	0.119	0.720
EDR (Hz)	0.34 \pm 0.17	0.38 \pm 0.06	0.720	0.167	0.206
Nicht lineare Ergebnisse					
SD1 (ms)	111.19 \pm 97.75	142.85 \pm 55.94	0.960	0.760	0.660
SD2 (ms)	171.61 \pm 165.58	222.38 \pm 116.19	0.540	0.920	0.870
SD2/ SD1 Ratio	1.74 \pm 0.63	1.50 \pm 0.19	0.470	0.095	0.297
DFA a1	1.00 \pm 0.23	0.86 \pm 0.09	0.480	*0.041	0.540
DFA a2	0.62 \pm 0.17	0.57 \pm 0.03	0.730	0.615	*0.016
Index					
PNS	2.23 \pm 4.41	2.64 \pm 3.08	0.900	0.998	0.757
SNS	0.79 \pm 1.58	3.86 \pm 3.06	0.950	0.111	0.540

SDNN (SD der RR-Intervalle), RMSSD (Quadratwurzel aus den quadrierten Mittelwerten der Summe aller Differenzen aufeinander folgender RR Intervalle), pNN50 (Prozentsatz der aufeinanderfolgenden RR-Intervalle mit mehr als 50 ms Abweichung), LF/HF-Ratio (Balance des autonomen Nervensystems), EDR (ECG abgeleitete Atmung), SD (Senkrecht zur Identitätslinie und entlang der Identitätslinie), DFA (Fluktuationsanalyse und Fluktuationsneigung), PNS (Index parasympathisches Nervensystem), SNS (Index sympathisches Nervensystem). P-Werte < 0.05 vor der Tukey-Kramer-Korrektur, sind fett und kursiv dargestellt und ein zusätzliches * steht für den Effekt nach der Tukey-Kramer-Korrektur.

In Abschnitt 4 (Betäubung/Entblutung) zeigten für die durchgeführte mixed ANOVA weder die Transportentfernung (Weg) noch die Weg \times Dauer Wechselwirkungen einen Einfluss auf die Mittelwerte der Parameter (Tabelle 12). Nur die Abschnittsdauer (Dauer) hatte einen Einfluss, auch nach Anpassung durch Tukey-Kramer, auf die mittlere Herzfrequenz ($p = 0.02$) mit einer Reduktion in den Minuten 0 bis 5 im Vergleich zu den Minuten 5 bis 10 (LMS \pm SE: 112.65 \pm 11.66 ms vs. 137.09 \pm 12.42 ms). Auch beim Stress-Index (SI, $p = 0.049$) und SNS ($p = 0.02$) hat die Dauer einen Einfluss und führte zur Reduktion in den ersten 5 Minuten im Vergleich zur 5 bis 10 Minute. Im Gegensatz dazu fand bei SDNN ($p = 0.03$), RMSSD ($p = 0.006$), SD1 ($p = 0.006$), SD2 ($p = 0.04$) und PNS ($p = 0.014$) eine Erhöhung in Minute 0 bis 5 im Gegensatz zu Minute 5 bis 10 statt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Herzparameter (MW \pm SD) und statistische Informationen bei kurzem und langem Transport in Abschnitt 4 (Betäubung/ Entblutung)

	Kurz MW \pm SD	Lang MW \pm SD	p		
			Dauer (D)	Weg (W)	W*D
Zeitbereich					
RR Mittelwert (ms)	486.49 \pm 115.98	458.86 \pm 123.55	0.13	0.45	0.62
Mittlere HR (bpm)	129.45 \pm 29.65	137.19 \pm 30.57	*0.02	0.89	0.58
SDNN (ms)	182.82 \pm 56.61	196.88 \pm 48.34	*0.03	0.41	0.91
RMSSD (ms)	196.68 \pm 74.53	217.08 \pm 128.13	*0.006	0.47	0.66
pNN50 (%)	57.81 \pm 11.54	96.11 \pm 84.62	0.18	0.61	0.19
SI (Stress-Index)	4.29 \pm 1.41	4.92 \pm 1.15	*0.049	0.74	0.61
Frequenzbereich					
LF/HF Ratio	0.63 \pm 0.48	0.42 \pm 0.31	0.69	0.38	0.58
EDR (Hz)	0.35 \pm 0.15	0.47 \pm 0.08	0.06	0.98	0.34
Nicht lineare Erg.					
SD1 (ms)	139.23 \pm 50.04	153.59 \pm 81.02	*0.006	0.46	0.65
SD2 (ms)	181.61 \pm 69.62	205.11 \pm 34.11	*0.04	0.50	0.81
SD2/SD1 Ratio	1.32 \pm 0.25	1.62 \pm 0.62	0.45	0.78	0.89
DFA a1	0.76 \pm 0.13	0.67 \pm 0.29	0.22	0.71	0.83
DFA a2	0.52 \pm 0.14	0.54 \pm 0.26	0.55	0.99	0.06
Index					
PNS	2.45 \pm 2.38	2.83 \pm 3.68	*0.014	0.44	0.97
SNS	3.77 \pm 2.45	4.55 \pm 2.49	*0.02	0.98	0.58

SDNN (SD der RR-Intervalle), RMSSD (Quadratwurzel aus den quadrierten Mittelwerten der Summe aller Differenzen aufeinander folgender RR-Intervalle), pNN50 (Prozentsatz der aufeinanderfolgenden RR-Intervalle mit mehr als 50 ms Abweichung), LF/HF-Ratio (Balance des autonomen Nervensystems), EDR (ECG abgeleitete Atmung), SD (Senkrecht zur Identitätslinie und entlang der Identitätslinie), DFA (Fluktuationsanalyse und Fluktuationsneigung), PNS (Index parasymphathisches Nervensystem), SNS (Index sympathisches Nervensystem). P-Werte < 0.05 vor der Tukey-Kramer-Korrektur, sind fett und kursiv dargestellt und ein zusätzliches * steht für den Effekt nach der Tukey-Kramer-Korrektur.

Physiologische Parameter

Die Daten wurden ebenfalls mit der Software R bearbeitet und es wurde eine **nicht parameterische mixed ANOVA** durchgeführt, um statistische signifikante Parameter zu isolieren.

1.5. EKG Amplitude (mV)

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **EKG Amplitude**, unterteilt nach Abschnitt und Transportentfernung sind Tabelle 13 zu entnehmen.

Tabelle 13: EKG Amplitude über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	EKG Amplitude	10	0.0015	0.00051
1	Lang	EKG Amplitude	5	0.0014	0.00111
2	Kurz	EKG Amplitude	10	0.0008	0.00019
2	Lang	EKG Amplitude	5	0.0008	0.00005
3	Kurz	EKG Amplitude	10	0.0007	0.00028
3	Lang	EKG Amplitude	5	0.0010	0.00012
4	Kurz	EKG Amplitude	10	0.0011	0.00124
4	Lang	EKG Amplitude	5	0.0024	0.00208

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 13 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter EKG Amplitude sind den Boxplots in Abbildung 25 zu entnehmen.

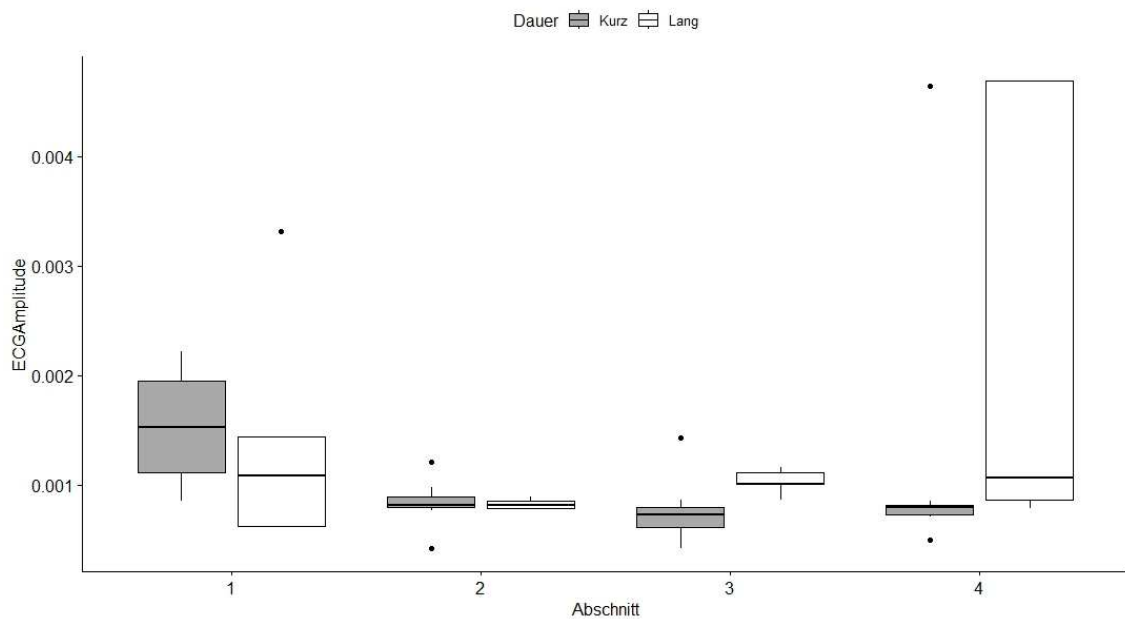


Abbildung 25: Boxplot der EKG Amplitude (mV) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung*4 Abschnitte) zeigt sich signifikant hinsichtlich der EKG Amplitude mit $F(3,38) = 2.95$; $p = 0.05$. Die signifikanten Einzeleffekte Zeit und Gruppenzugehörigkeit werden nachfolgend jedoch ignoriert, da es nicht zielführend ist, das isolierte Wirken der Einzelfaktoren zu beurteilen, wenn das gemeinsame Wirken als signifikant beobachtet werden konnte. Für diese Interaktion wurden entsprechend post-hoc-Tests durchgeführt. Lediglich zwischen Abschnitt 1 kurz ($M = 0.0015$, $SD = 0.00051$), 2 kurz ($M = 0.0008$, $SD = 0.00019$) und Abschnitt 1 kurz ($M = 0.0015$, $SD = 0.00051$), 3 kurz ($M = 0.0007$, $SD = 0.00028$) und Abschnitt 1 kurz ($M = 0.0015$, $SD = 0.00051$), 4 kurz ($M = 0.0011$, $SD = 0.00124$) und Abschnitt 3 kurz ($M = 0.0007$, $SD = 0.00028$) und Abschnitt 4 lang ($M = 0.0024$, $SD = 0.00208$) gibt es mit p-Wert-Korrektur nach Tukey einen Unterschied $t_{1-2}(38) = 3.54$; $p = 0.02$, $d_{1-2} = 1.46$; $t_{1-3}(38) = 4.95$; $p < 0.0001$, $d_{1-3} = 2.04$; $t_{1-4}(38) = 4.14$; $p = 0.004$, $d_{1-4} = 1.71$ und $t_{3-4}(38) = 3.34$; $p = 0.03$, $d_{3-4} = 1.70$. Die Effektstärken hierfür zeigen, dass es sich um jeweils große Unterschiede handeln könnte (COHEN, 1992).

Anhand des Liniendiagramms in Abbildung 26 lässt sich ebenfalls der signifikante Interaktionseffekt infolge der Überschneidung der beiden Linien ableiten: In Abschnitt 1 liegt die EKG Amplitude der Gruppe mit der kurzen Transportdauer noch oberhalb der Gruppe mit der langen Transportdauer. Dies dreht sich in den folgenden Abschnitten um und ist in Abschnitt 4 deutlich unterschiedlich zugunsten einer höheren EKG-Amplitude der Gruppe mit der langen Transportdauer, verglichen mit der Gruppe mit der kurzen Transportdauer. (Abbildung 26)

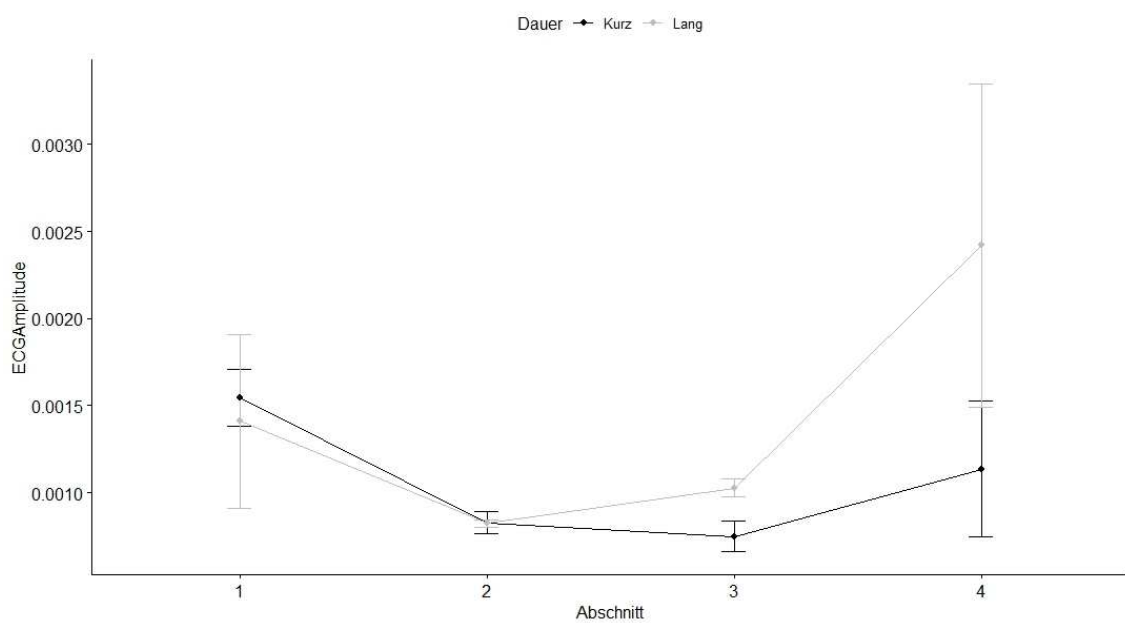


Abbildung 26: Liniendiagramm (Mittelwerte/Standardfehler) der EKG Amplitude (mV) über die 4 Abschnitte und unterteilt in kurzen und langen Transport

1.6. Atemfrequenz (Atemzüge/min)

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **Atemfrequenz**, unterteilt nach Abschnitt und Transportdauer sind Tabelle 14 zu entnehmen.

Tabelle 14: Atemfrequenz über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	Atemfrequenz	10	11.74	2.58
1	Lang	Atemfrequenz	5	15.47	0.77
2	Kurz	Atemfrequenz	10	13.14	2.70
2	Lang	Atemfrequenz	5	15.49	1.57
3	Kurz	Atemfrequenz	10	12.53	2.75
3	Lang	Atemfrequenz	5	19.48	8.70
4	Kurz	Atemfrequenz	10	14.70	2.49
4	Lang	Atemfrequenz	5	15.40	4.82

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 14 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter EKG Amplitude sind den Boxplots in Abbildung 27 zu entnehmen.

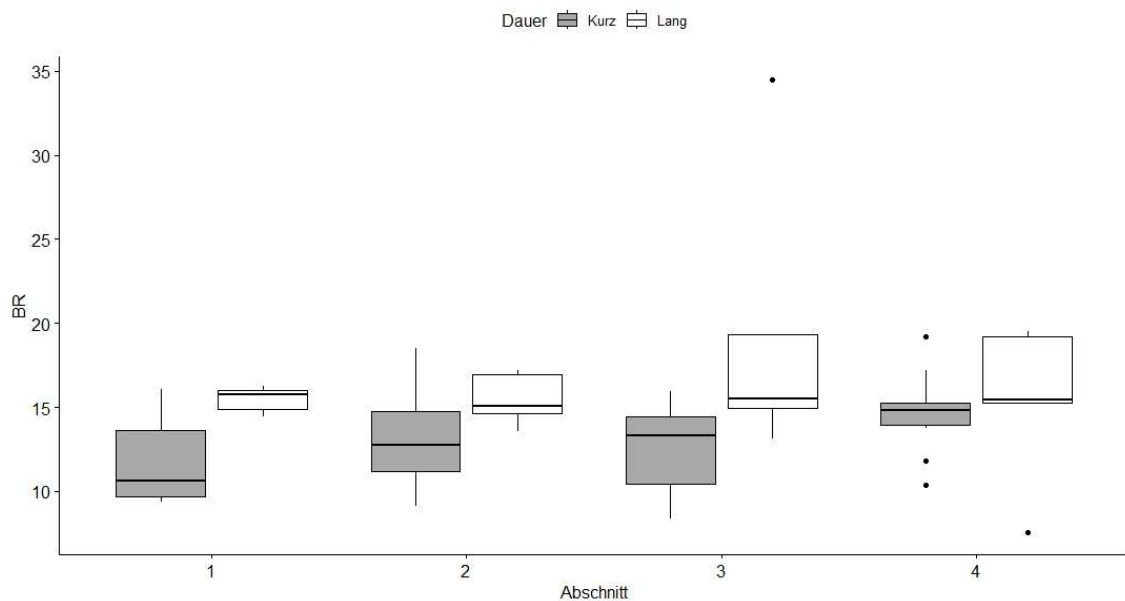


Abbildung 27: Boxplot der Atemfrequenz (Züge/min) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Entfernung). Der Median und das erste

und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung*4 Abschnitte) zeigt sich im Rahmen der durchgeführten mixed ANOVA nicht signifikant bezüglich der **Atemfrequenz** mit $F(3,38) = 0.57$; $p = 0.64$. Der Faktor Transportentfernung (lang/kurz) zeigte sich allerdings signifikant bezüglich der Atemfrequenz mit $F(1,13) = 12.89$, $p = 0.003$, $d = 0.99$. Die Gruppe der Rinder mit kurzer Transportdauer hat folglich eine niedrigere Atemfrequenz. Die Effektstärke hierfür zeigt, dass es sich um einen großen Unterschied handeln könnte (COHEN, 1992). Der Faktor Zeit, gemessen in 4 Abschnitten zeigte sich nicht signifikant bezüglich der Atemfrequenz mit $F(3,38) = 1.33$; $p = 0.28$. (Abbildung 27)

1.7. Körpertemperatur (°C)

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **Körpertemperatur**, unterteilt nach Abschnitt und Transportentfernung sind Tabelle 15 zu entnehmen.

Tabelle 15: Körpertemperatur über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	Körpertemperatur	10	36.27	0.94
1	Lang	Körpertemperatur	5	35.99	0.21
2	Kurz	Körpertemperatur	10	36.39	0.81
2	Lang	Körpertemperatur	5	35.38	0.22
3	Kurz	Körpertemperatur	10	36.08	0.91
3	Lang	Körpertemperatur	5	35.29	0.12
4	Kurz	Körpertemperatur	10	36.17	1.00
4	Lang	Körpertemperatur	5	35.93	0.39

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 15 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter Körpertemperatur sind den Boxplots in Abbildung 28 zu entnehmen.

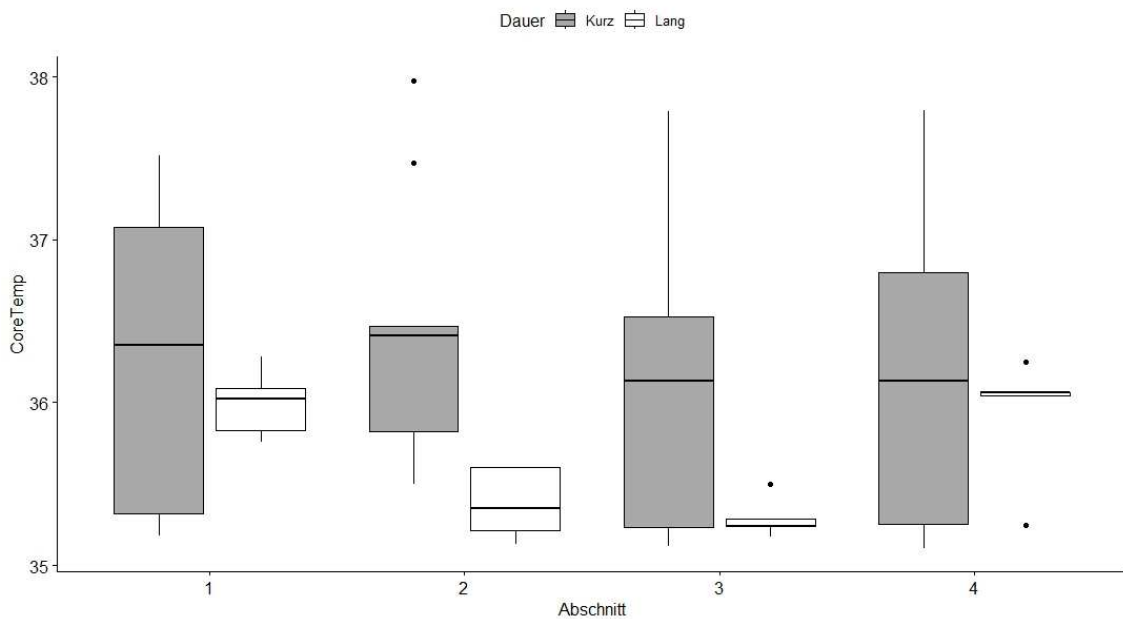


Abbildung 28: Boxplot der Körpertemperatur (°C) über die 4 Abschnitte und unterteilt in kurzen und langen Transport (Dauer). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung*4 Abschnitte) zeigt sich in der durchgeführten mixed ANOVA signifikant hinsichtlich der Körpertemperatur mit $F(3,38) = 3.44$; $p = 0.03$. Nach der p-Wert Korrektur nach Tukey bleibt der Unterschied allerdings nicht erhalten. (Abbildung 28) Anhand des Liniendiagramms in Abbildung 29 lässt sich ebenfalls der nicht bleibende signifikante Interaktionseffekt ableiten, da sich die Linien nicht schneiden und lediglich eine Überlappung der die Standardfehler repräsentierenden T-Balken der Gruppe mit der kurzen Transportdauer mit dem Mittelwert der Gruppe der langen Transportdauer im Abschnitt 1 und 4 vorliegt. (Abbildung 29)

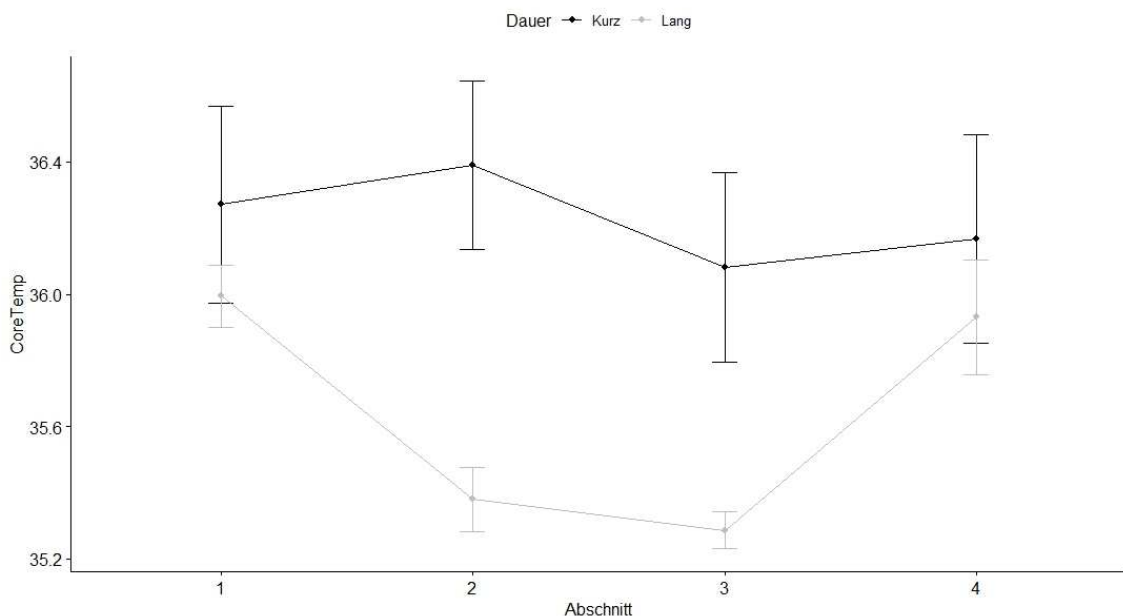


Abbildung 29: Liniendiagramm (Mittelwerte/Standardfehler) der Körpertemperatur (°C) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Entfernung).

2. Verhaltensparameter

2.1. Körperlage (Posture (°))

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **Körperlage (Posture)**, unterteilt nach Abschnitt und Transportentfernung sind Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 16: Körperlage (Posture) über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	Posture	10	-72.20	20.65
1	Lang	Posture	5	-86.69	3.74
2	Kurz	Posture	10	-87.30	5.04
2	Lang	Posture	5	-86.47	2.78
3	Kurz	Posture	10	-85.23	8.74
3	Lang	Posture	5	-84.56	5.36
4	Kurz	Posture	10	62.72	47.49
4	Lang	Posture	5	20.55	11.93

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 16 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter Körperlage sind den Boxplots in Abbildung 30 zu entnehmen

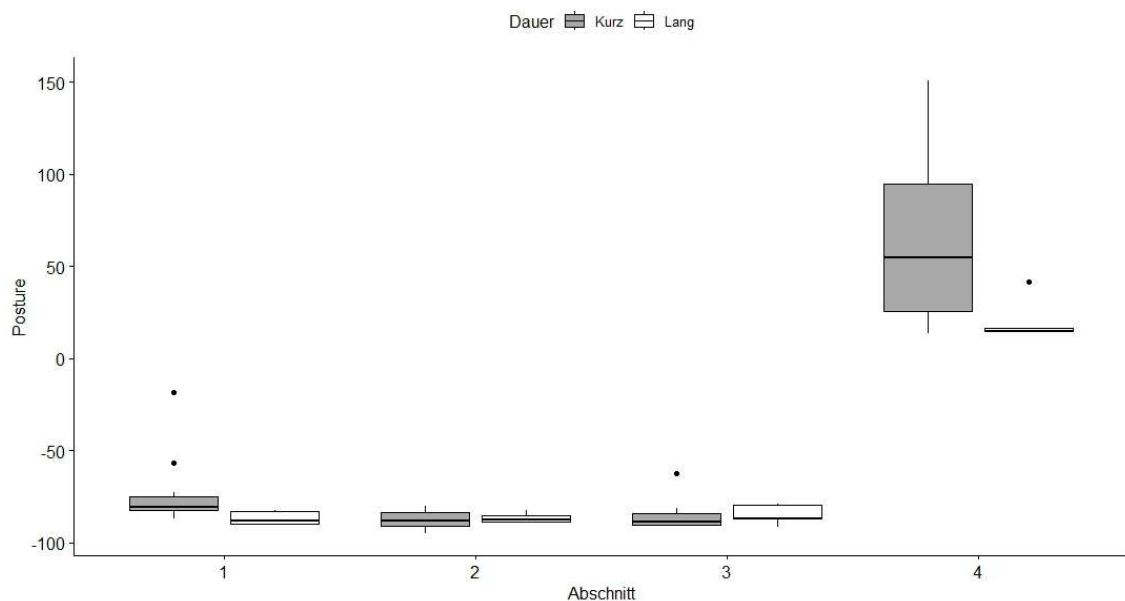


Abbildung 30: Boxplot der Körperlage (°) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Entfernung). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung*4 Abschnitte) zeigt sich signifikant hinsichtlich der Körperlage mit $F(3,38) = 4.23$, $p < 0.001$. Für diese Interaktion wurden entsprechend post-hoc-Tests durchgeführt.

Aufgrund der vielen signifikanten Unterschiede und zur besseren Übersicht steht nachfolgend die Tabelle 17 der Post-Hoc Test für die Interaktionen aus Gruppen und Abschnitten für die Körperlage. Zusammengefasst kann beobachtet werden, dass in Abschnitt 1 und 4 die Gruppe mit kurzer Transportentfernung einen höheren (weniger niedrigeren) Wert ausweist, als die Gruppe mit langer Transportentfernung. In den Abschnitten 2 und 3 kann die gegenteilige Situation beobachtet werden (Abbildung 31).

Tabelle 17: Posture nach post hoc Test für die Interaktionen (Gruppe:Abschnitte) (* zeigt die Signifikanz an)

Contrast	estimate	SE	Df	t	p (adj.)	sig	d
1,Kurz - 2,Kurz	19.047	4.422	40.177	4.307	0.002	**	1.220
1,Kurz - 3,Kurz	16.503	4.422	40.177	3.732	0.012	*	1.057
1,Kurz - 4,Kurz	-18.896	4.422	40.177	-4.273	0.003	**	-1.210
1,Lang - 4,Kurz	-35.108	5.655	50.964	-6.208	<0.001	***	-2.249
1,Lang - 4,Lang	-31.200	6.213	37.808	-5.022	<0.001	***	-1.998
2,Kurz - 4,Kurz	-37.943	4.422	40.177	-8.581	<0.001	***	-2.430
2,Kurz - 4,Lang	-34.035	5.655	50.964	-6.019	<0.001	***	-2.180
2,Lang - 4,Kurz	-33.708	5.655	50.964	-5.961	<0.001	***	-2.159
2,Lang - 4,Lang	-29.800	6.213	37.808	-4.797	0.001	***	-1.909
3,Kurz - 4,Kurz	-35.399	4.422	40.177	-8.005	<0.001	***	-2.267
3,Kurz - 4,Lang	-31.492	5.655	50.964	-5.569	<0.001	***	-2.017
3,Lang - 4,Kurz	-28.908	5.655	50.964	-5.112	<0.001	***	-1.851
3,Lang - 4,Lang	-25.000	6.213	37.808	-4.024	0.006	**	-1.601

Anmerkung. Die p-Wert-Korrektur wurde nach Tukey durchgeführt.

Die Effektstärken hierfür zeigen, dass es sich um jeweils sehr große Unterschiede handelt, was natürlich auf die Winkelveränderung beider Transportgruppen in Abschnitt 4 zurückgeführt werden könnte (COHEN, 1992). (Abbildung 30) Anhand des Liniendiagramms lässt sich ebenfalls der signifikante Interaktionseffekt beobachten. (Abbildung 31)

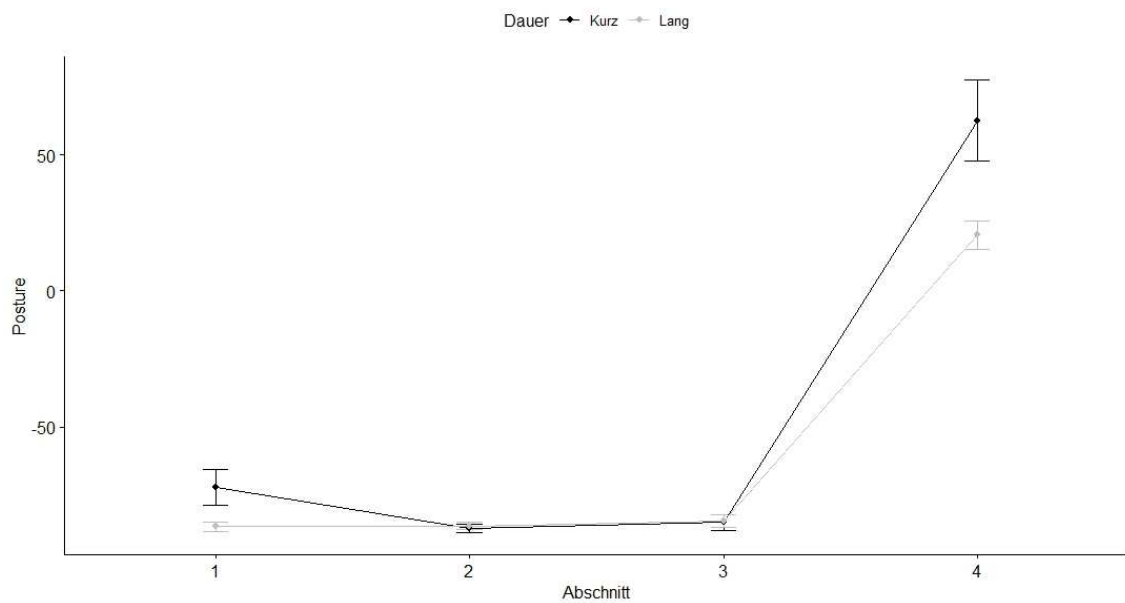


Abbildung 31: Liniendiagramm (Mittelwerte/Standardfehler) der Körperlage (°) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Dauer).

2.2. Aktivität (Activity (VMU))

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **Aktivität** (Activity), unterteilt nach Abschnitt und Transportentfernung sind Tabelle 18 zu entnehmen.

Tabelle 18: Aktivität (Activity) über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	Activity	10	0.13	0.07
1	Lang	Activity	5	0.07	0.01
2	Kurz	Activity	10	0.03	0.01
2	Lang	Activity	5	0.06	0.02
3	Kurz	Activity	10	0.04	0.02
3	Lang	Activity	5	0.05	0.01
4	Kurz	Activity	10	0.06	0.03
4	Lang	Activity	5	0.03	0.01

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 18 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter Aktivität sind den Boxplots in Abbildung 32 und im Liniendiagramm Abbildung 33 zu entnehmen.

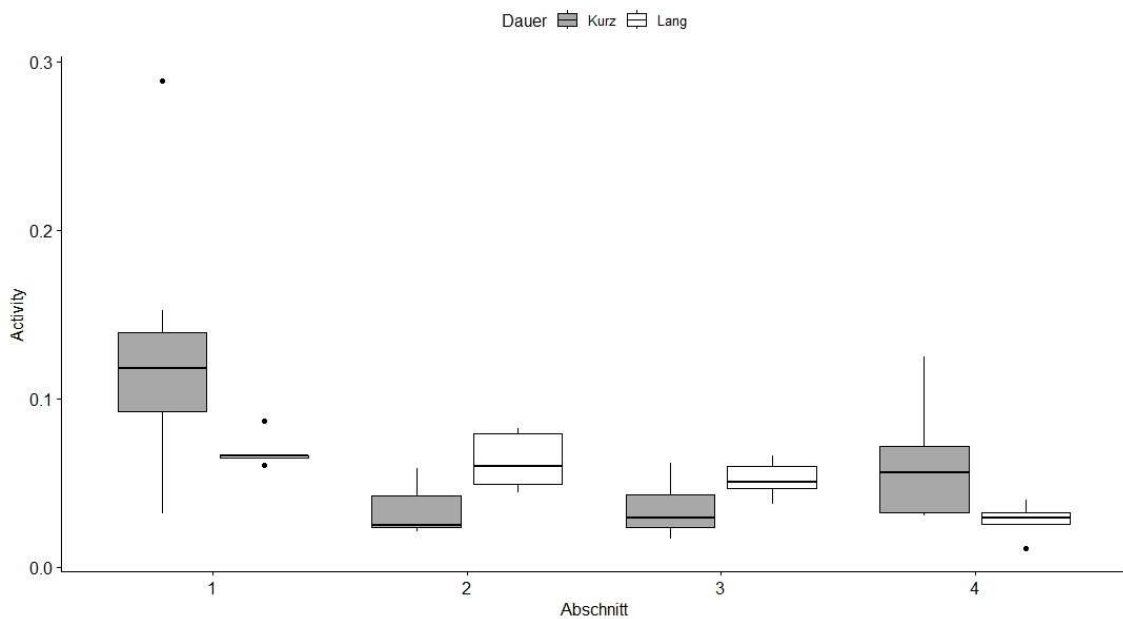


Abbildung 32: Boxplot der Aktivität (VMU) über die 4 Abschnitte und unterteilt in kurzen und langen Transport (Entfernung). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung*4 Abschnitte) zeigt sich signifikant hinsichtlich der Activity mit $F(3,38) = 12.53$, $p < 0.001$ (Abbildung 32). Für diese Interaktion wurden entsprechend post-hoc-Tests durchgeführt.

Aufgrund der vielen signifikanten Unterschiede und zur besseren Übersicht steht nachfolgend die Tabelle 19 der Post-Hoc Test für die Interaktionen aus Gruppen und Abschnitten für die Aktivität. Zusammengefasst kann beobachtet werden, dass die höhere Aktivität von der Gruppe mit kurzer Transportentfernung in Abschnitt 1, in den Abschnitten 2 und 3 wiederum niedriger ist, verglichen mit der Gruppe mit langer Transportentfernung. Dies dreht sich erneut in Abschnitt 4, in welchem die Gruppe mit kurzer Transportentfernung wiederum eine höhere Aktivität aufweist.

Tabelle 19: Activity nach post hoc Test für die Interaktionen (Gruppe:Abschnitte) (* zeigt die Signifikanz an)

Contrast	estimate	SE	Df	t	p (adj.)	sig	d
1,Kurz – 2,Kurz	36.199	5.251	40.239	6.893	<0.001	***	2.665
1,Kurz – 3,Kurz	34.100	5.251	40.239	6.493	<0.001	***	2.510
1,Kurz – 4,Kurz	16.798	5.251	40.239	3.199	0.050	*	1.237
1,Kurz – 4,Lang	36.796	6.436	52.000	5.718	<0.001	***	2.709
1,Lang – 2,Kurz	27.003	6.436	52.000	4.196	0.003	**	1.988
1,Lang – 3,Kurz	24.903	6.436	52.000	3.870	0.007	**	1.833
1,Lang – 4,Lang	27.600	7.417	38.206	3.721	0.013	*	2.032
2,Kurz – 2,Lang	-22.403	6.436	52.000	-3.481	0.021	*	-1.649
2,Kurz – 4,Kurz	-19.401	5.251	40.239	-3.694	0.014	*	-1.428
3,Kurz – 4,Kurz	-17.302	5.251	40.239	-3.295	0.039	*	-1.274

Anmerkung. Die p-Wert-Korrektur wurde nach Tukey durchgeführt.

Die Effektstärken hierfür zeigen, dass es sich um z.T. sehr große Unterschiede handelt (COHEN, 1992). (Abbildung 32)

Anhand des Liniendiagramms lässt sich ebenfalls der signifikante Interaktionseffekt beobachten. (Abbildung 33)

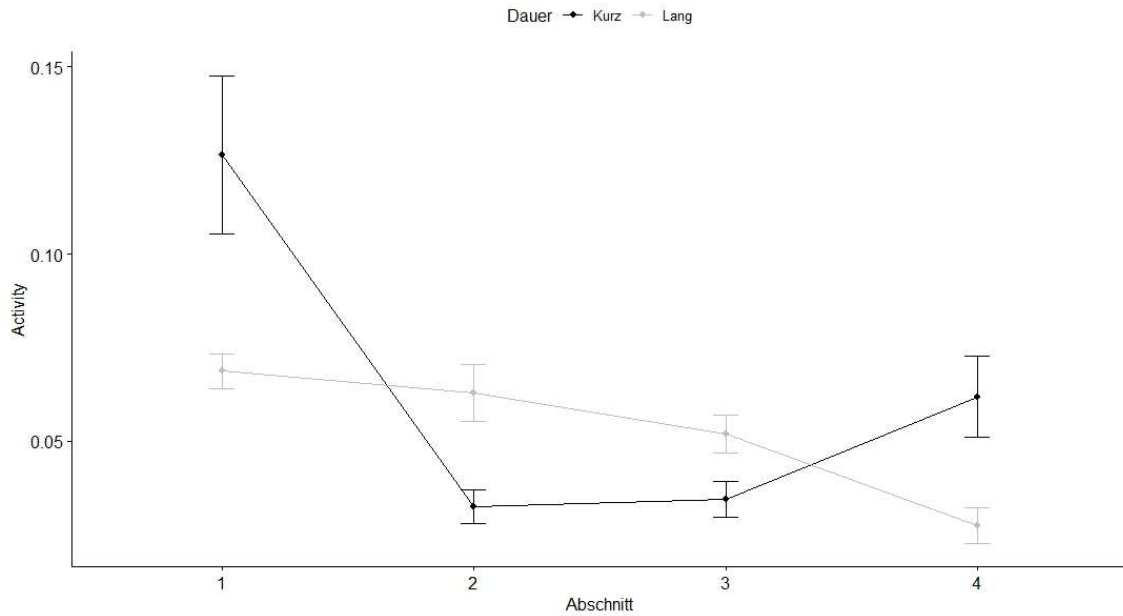


Abbildung 33: Liniendiagramm (Mittelwerte/Standardfehler) der Aktivität (VMU) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Entfernung).

2.3. Schritte (Walk steps)

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der **Schritte** (Walk Steps), unterteilt nach Abschnitt und Transportentfernung sind Tabelle 20 zu entnehmen.

Tabelle 20: Schritte (Walk Steps) über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	Walk steps	10	4.31	4.21
1	Lang	Walk steps	5	2.41	2.01
2	Kurz	Walk steps	10	3.23	4.73
2	Lang	Walk steps	5	3.71	3.60
3	Kurz	Walk steps	10	7.82	2.30
3	Lang	Walk steps	5	6.28	5.53
4	Kurz	Walk steps	10	10.99	7.07
4	Lang	Walk steps	5	9.57	7.12

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 20 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter Schritte sind den Boxplots in Abbildung 34 zu entnehmen.

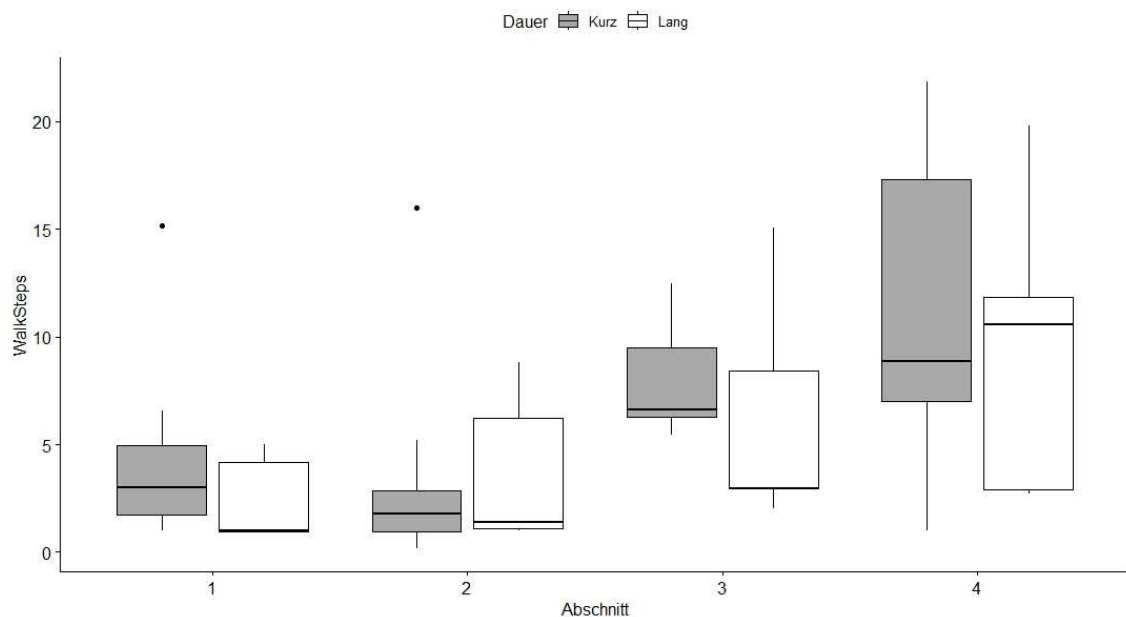


Abbildung 34: Boxplot der Schritte (walk steps) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Dauer). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung*4 Abschnitte) zeigt sich im Rahmen der mixed ANOVA nicht signifikant bezüglich der **Schritte** mit $F(3,38) = 1.35$; $p = 0.27$. Der Faktor Transportentfernung (lang/kurz) zeigte sich ebenfalls nicht signifikant bezüglich der Schritte mit $F(1,13) = 0.78$, $p = 0.39$. Der Faktor Zeit, gemessen in den 4 Abschnitten zeigte sich allerdings signifikant bezüglich der Walk steps mit $F(3,38) = 11.99$; $p < 0.001$. Für diesen Faktor wurden entsprechend post-hoc-Tests durchgeführt. Da sich bei 4 der 6 möglichen paarweisen Vergleiche signifikante Unterschiede zeigten, wird aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die nachfolgende Tabelle verwiesen.

Contrast	estimate	SE	df	t	p (adj.)	d
Abschnitt1 – Abschnitt3	-14.886	4.574	38	-3.254	0.009	-1.270
Abschnitt1 – Abschnitt4	-19.420	4.574	38	-4.245	0.001	-1.657
Abschnitt2 – Abschnitt3	-18.512	4.574	38	-4.047	0.001	-1.579
Abschnitt2 – Abschnitt4	-23.046	4.574	38	-5.038	<0.001	-1.966

Anmerkung. Die p-Wert-Korrektur wurde nach Tukey durchgeführt.

Zwischen Abschnitt 1 ($M_{K1} = 4.31$, $M_{L1} = 2.41$, $SD_{K1} = 4.21$, $SD_{L1} = 2.01$), 3 ($M_{K3} = 7.82$, $M_{L3} = 6.28$, $SD_{K3} = 5.53$, $SD_{L3} = 7.07$) und Abschnitt 1 ($M_{K1} = 4.31$, $M_{L1} = 2.41$, $SD_{K1} = 4.21$, $SD_{L1} = 2.01$), 4 ($M_{K4} = 10.99$, $M_{L4} = 9.57$, $SD_{K4} = 7.07$, $SD_{L4} = 7.12$) Abschnitt 2 ($M_{K2} = 3.23$, $M_{L2} = 3.71$, $SD_{K2} = 3.23$, $SD_{L2} = 3.71$), 3 ($M_{K3} = 7.82$, $M_{L3} = 6.28$, $SD_{K3} = 5.53$, $SD_{L3} = 7.07$) und Abschnitt 2 ($M_{K2} = 3.23$, $M_{L2} = 3.71$, $SD_{K2} = 3.23$, $SD_{L2} = 3.71$), 4 ($M_{K4} = 10.99$, $M_{L4} = 9.57$, $SD_{K4} = 7.07$, $SD_{L4} = 7.12$) und gibt es mit p-Wert-Korrektur nach Tukey einen Unterschied $t_{1-3}(38) = 3.25$; $p = 0.01$, $d_{1-3} = 1.27$; $t_{1-4}(38) = 4.25$; $p = 0.001$, $d_{1-4} = 1.66$; $t_{2-3}(38) = 4.05$; $p = 0.001$, $d_{2-3} = 1.58$ und $t_{2-4}(38) = 5.04$; $p < 0.0001$, $d_{2-4} = 1.97$

Die Effektstärken zeigen allesamt, dass es sich um einen großen Unterschied handeln könnte (COHEN, 1992). (Abbildung 34). Erkennbar ist, dass über die Zeit die Anzahl an Schritten fast ausnahmslos zunimmt.

2.4. Stolper-Index (°)

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen des **Stolper-Indexes**, unterteilt nach Abschnitt und Transportentfernung sind Tabelle 21 zu entnehmen.

Tabelle 21: Stolper-Index über die Abschnitte pro Gruppe (Transportentfernung)

Abschnitt	Transportentfernung	Parameter	N	M	SD
1	Kurz	Stolper-Index	10	94.12	4.28
1	Lang	Stolper-Index	5	88.96	5.63
2	Kurz	Stolper-Index	10	91.90	4.86
2	Lang	Stolper-Index	5	88.92	5.99
3	Kurz	Stolper-Index	10	90.51	6.45
3	Lang	Stolper-Index	5	87.76	9.75
4	Kurz	Stolper-Index	10	99.02	39.72
4	Lang	Stolper-Index	5	109.21	36.22

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 21 um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für den Parameter Stolper-Index sind den Boxplots in Abbildung 35 zu entnehmen.

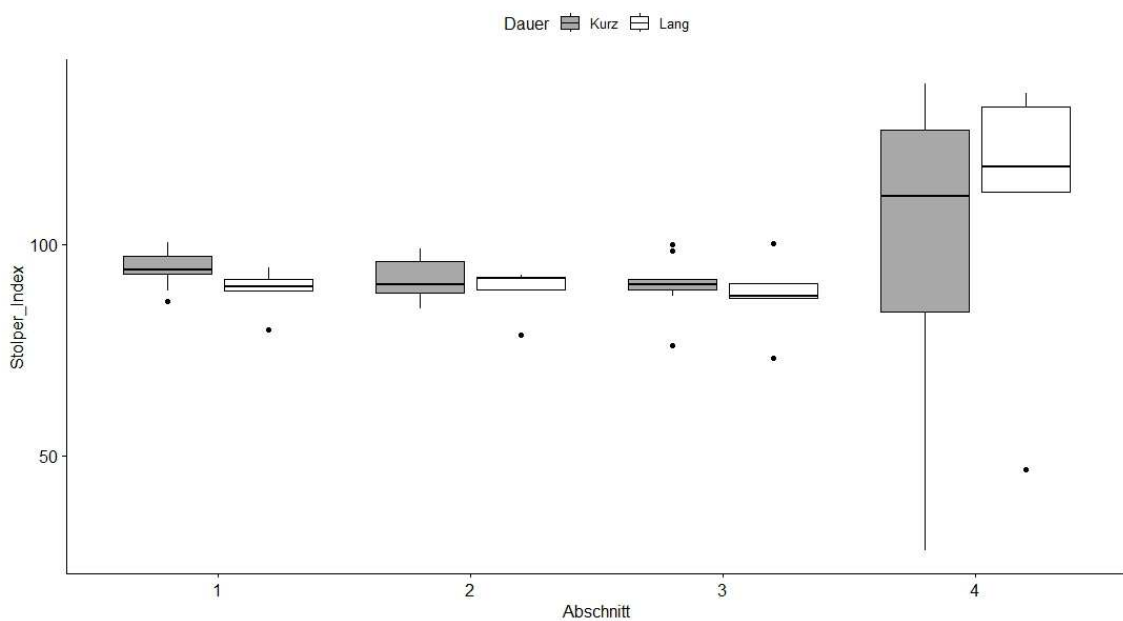


Abbildung 35: Boxplot der Stolper-Indexe (Grad) über die 4 Abschnitte und unterteilt in den kurzen und langen Transport (Dauer). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt. Bei den Einzelpunkten handelt es sich um Extremwerte.

Der Interaktionseffekt (Transportentfernung*4 Abschnitte) zeigt sich in der gerechneten mixed ANOVA nicht signifikant bezüglich des **Stolper-Index** mit $F(3,38) = 0.97$; $p = 0.42$. Der Faktor Transportentfernung (lang/kurz) zeigte sich ebenfalls nicht signifikant bezüglich des Stolper-Index mit $F(1,13) = 0.05$, $p = 0.83$. Der Faktor Zeit, gemessen in 4 Abschnitten zeigt sich allerdings signifikant bezüglich des Stolper-Index mit $F(3,38) = 3.38$; $p = 0.03$. Lediglich zwischen Abschnitt 3 ($M_{K3} = 90.51$, $M_{L3} = 87.76$; $SD_{K3} = 6.45$, $SD_{L3} = 9.75$) und 4 ($M_{K4} = 99.02$, $M_{L4} = 109.21$; $SD_{K4} = 39.72$, $SD_{L4} = 36.22$) gibt es mit p-Wert-Korrektur nach Tukey einen Unterschied $t_{3-4}(38) = 2.94$; $p = 0.03$, $d_{3-4} = 1.14$. Die Effektstärke hierfür zeigt, dass es sich um einen großen Unterschied handeln könnte (COHEN, 1992). (Abbildung 35)

3. TGA Audit

Jeder Leitparameter des Temple Grandin Audit (TGA) wurde im Rahmen der Analyse und Auswertung mit festgelegten Vitalparametern verknüpft. Die Ergebnisübersicht sieht eine graphische Überprüfung der Vital-Leitparameter-Kombination in allen 4 Abschnitten der Lebensmittelerzeugung vor. Die Leitparameter 4 (Vokalisation) und 7 (Wasserversorgung) sind durch das Zephyr BioHarness 3 nicht zu erfassen, aber standardisiert durch den Versuchsleiter geprüft und dokumentiert worden. Die positive Behandlung (keine (eingeschränkte) Vokalisation und Wasser vorhanden) wurde mit keiner Abweichung gewertet, während negative Behandlung (vermehrte Vokalisation und kein Wasser vorhanden) mit einer negativen Abweichung bewertet wurde. Der LP6 (Gewaltanwendung) ist nicht Teil der Untersuchung, da es nicht sicher möglich ist, nur über die Vitalparameter kurzfristig Gewaltanwendung zu erfassen, vor allem unter Abgrenzung des 4. Abschnittes. Im Bereich des LP1 (Betäubungsdurchführung) und LP2 (Bewußtlosigkeit auf der Entblutestrecke) existieren „falsch negative“ Bewertungen, die als positive Abweichungen registriert wurden. Hintergrund sind die gravierenden Veränderungen im Bewegungsablauf des Rindes bei der Betäubung und Entblutung. Technisch bedingt sind die Ergebnisse der HRV nur bruchstückhaft detektiert worden und deshalb nur eingeschränkt verwendbar und grafisch erfasst.

Die Anzahl der Beobachtungen auf Grundlage der Vitalparameter-Graphen anhand des TGA Protokolls (LP1-LP7) unterteilt nach den Abschnitten 1-4 sind in Tabelle 28 im Anhang 2 zu entnehmen.

Eine Zusammenfassung der prozentualen Abweichungen ist Tabelle 22 zu entnehmen, genauso wie die grafische Ergänzung mit einer Konzentration der Abweichungen in dem Kreisdiagramm in Abbildung 36.

Für die getesteten Parameter des Temple Grandin Audits (LP1, LP2, LP3, LP4, LP5 und LP7) wurden in Abschnitt 1 in 85,45% der Fälle keine Abweichungen beobachtet und in 14,55% der Fälle negative Abweichungen. In Abschnitt 2 wurden in 98,97% der Fälle keine Abweichungen beobachtet und in 1,03% der Fälle negative Abweichungen.

In Abschnitt 3 wurden in 96,64% der Fälle keine Abweichungen beobachtet und in 3,36% der Fälle negative Abweichungen und im letzten Abschnitt 4 wurden in 55,47% der Fälle keine Abweichungen beobachtet, in 11,44% der Fälle negative Abweichungen und in 33,09% der Fälle positive Abweichungen.

Technisch bedingt sind die Ergebnisse der HRV nur bruchstückhaft detektiert worden und deshalb nur eingeschränkt verwendbar und grafisch erfasst. Die Einzelheiten der Abweichungen zwischen den Abschnitten, die LP's und die Vitalparameter HR, HRV, Atemfrequenz, Stolper-Index, EKG-Amplitude und Körperlage, sind in Abbildung 36 als Kreisdiagramme zusammengefasst.

Tabelle 22: %-Auswertung der Abweichungen beim TGA (Temple Grandin Audit)

Abweichungen	1. Abschnitt	2. Abschnitt	3. Abschnitt	4. Abschnitt	Insgesamt
% negativ	14,55%	1,03%	3,36%	11,44%	8,01%
% positiv				33,09%	10,00%
% keine Abweichung	85,45%	98,97%	96,64%	55,47%	81,99%

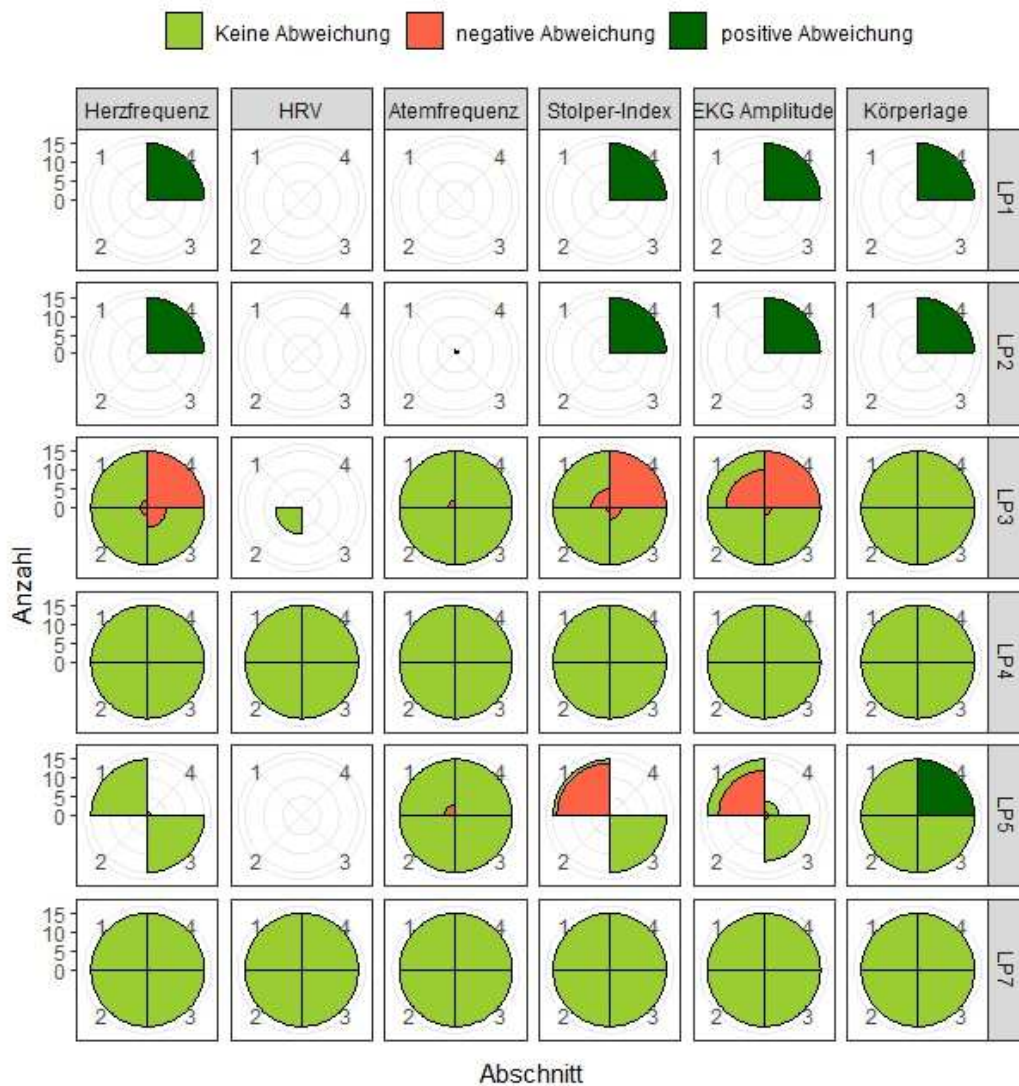


Abbildung 36: Kreisdiagramm der Vital- und Leitparameter-Kombination zur Bewertung und Analyse im Rahmen des Temple Grandin Audits (TGA). Leitparameter: LP1=Betäubungsdurchführung, LP2=Bewusstlosigkeit auf der Entblutestrecke, LP3=Fallen der Tiere, LP4=Vokalisation, LP5=Einsatz der E-Treibhilfe, LP7=Wasserversorgung,

Ein Kreisstück bedeutet am Beispiel des Stolper-Index, dass der LP3 in den Abschnitten 2 und 3 fast ausnahmslos keine Abweichungen zeigt, allerdings einige wenige negative Abweichungen in Abschnitt 1 sowie durchweg negative Abweichungen in Abschnitt 4.

Resultiert ergibt sich für die Analyse und Auswertung der Vital-Leitparameter-Kombination in Bezug auf das TGA eine für den **LP1 (Betäubungsdurchführung)** und **LP2 (Bewusstlosigkeit auf der Entblutestrecke)** bei den untersuchten Tieren positive Abweichungen im Abschnitt 4 (Betäubung/Entblutung) im Bereich der Atemfrequenz, EKG-Amplitude, Herzfrequenz, Körperlage und Stolper-Index. Beim **LP3 (Fallen der Tiere)** sind wenige negative Abweichungen im Bereich der Atemfrequenz in Abschnitt 1 zu erkennen und deutliche Abweichungen bei der EKG-Amplitude in Abschnitt 1 und 4. Auch bei der Herzfrequenz und dem Stolper-Index bestehen deutliche negative Abweichungen im Bereich des 4. Abschnittes und geringere negative Abweichungen im 1. und 3. Abschnitt. Die HRV ist ohne Abweichung, aber nur bruchstückhaft im 2. Abschnitt bei einigen Tieren aufgezeichnet worden. Bei dem **LP4 (Vokalisation)** wurden keine Abweichungen festgestellt, gelegentliche Kontaktlauten stellen, wie bereits im Vorfeld erläutert, keine Abweichung dar. Bei der Untersuchung des **LP5 (Einsatz von E-Treibgeräten)** fällt auf, dass es im 1. Abschnitt der EKG-Amplitude und dem Stolper-Index vermehrt negative Abweichungen gegeben hat. Die Körperlage zeigt naturgemäß im 4. Abschnitt positive Abweichungen. Bei dem **LP7 (Wasserversorgung)** wurden keine Abweichungen festgestellt.

4. Fleischqualitätsparameter pH-Wert

Die Anzahl der Beobachtungen, Mittelwerte und Standardabweichungen der pH-Werte, unterteilt nach Transportentfernung und Stunden p.m. (post mortem) sind Tabelle 23 zu entnehmen.

Tabelle 23: pH-Werte nach der Schlachtung

Dauer	Stunden	Parameter	N	M	SD
Kurz	1	pH	10	6.83	0.04
Lang	1	pH	5	6.84	0.02
Kurz	24	pH	10	5.59	0.03
Lang	24	pH	5	5.58	0.03

Eine grafische Ergänzung zu Tabelle 23, um die Quartile und evtl. auftretende Extremwerte für die pH-Werte sind in den Boxplots in Abbildung 37 zu entnehmen.

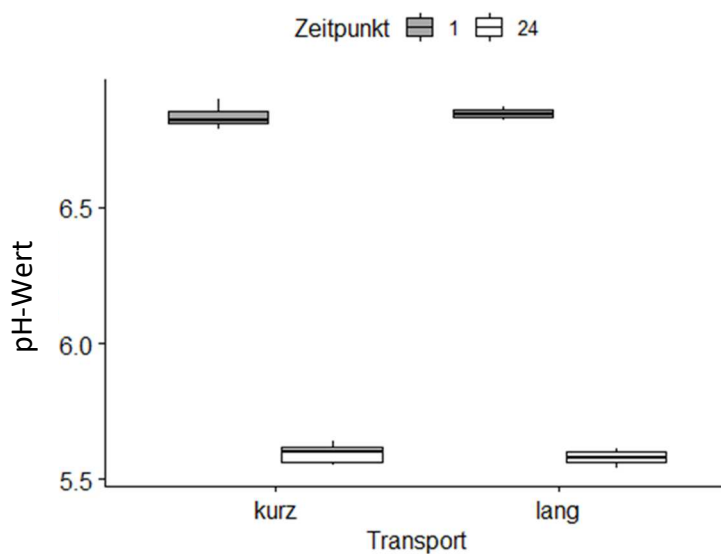


Abbildung 37: Boxplot der pH-Werte, gemessen im Longissimus thoracis et lumborum 1 Std. (pH_1 =grau) und 24 Std. (pH_{24} =weiss) post mortem im Kurzstreckentransport ($n=10$) und Langstreckentransport ($n=5$). Der Median und das erste und dritte Quartil werden durch den schwarzen Rahmen, das Maximum und Minimum durch die Whisker dargestellt.

Der Interaktionseffekt zeigt sich in der gerechneten mixed ANOVA nicht signifikant bezüglich des pH-Wertes mit $F(1,13) = 1.45$; $p = 0.25$. Der Faktor Zeit (1 Std. /24 Std.) zeigte sich allerdings signifikant bezüglich der Mittelwerte der pH-Werte mit $F(1,13) = 70.03$; $p < 0.001$ [$d = 3.24$]. Die Mittelwerte der pH-Werte sind bei beiden Transportarten über die Zeit signifikant gesunken. Die Effektstärke lässt auf einen großen Unterschied schließen (COHEN, 1992). Der Faktor Transportentfernung (kurz/lang) zeigte sich nicht signifikant bezüglich der pH-Werte mit $F(1,13) = 0.01$; $p = 0.94$. (Abbildung 37)

5. Zusammenfassung der empirischen Ergebnisse und Hypothesenprüfung

In der Tabelle 24 ist die Ergebnisübersicht in Verbindung mit den Hypothesen H1-H3 und im Falle eines Effektes deren jeweiliger Effektstärken abgebildet.

Tabelle 24: Ergebnisübersicht zu den Arbeitshypothesen H1, H2 und H3

X = signifikanter Effekt

(Nicht parametrische ANOVA in R);

Effektstärken nach Cohen, +=kleiner, ++=mittler, +++=großer Unterschied

Parameter	Effekt zu H1	Effekt zu H2	Effekt zu H3
	Transportentfernung	Abschnitt	Interaktion
RR	X (+++)	X (+++)	
HR			
SDNN		X (+++)	
RMSSD		X (+++)	
LF/HF Ratio			
EKG Amplitude		(X)	X (+++)
Atemfrequenz	X (+++)		
Körperlage	(X)	(X)	X (+++)
Aktivität			X (+++)
Körpertemperatur			
Schritte		X (+++)	
Stolper-Index		X (+++)	

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei der Mehrheit der Vitalparameter (9 von 12) die Nullhypothese keines Effektes in den Tests verworfen und die Alternativhypothese eines Unterschiedes angenommen werden musste.

In der Tabelle 25 ist die Ergebnisübersicht in Verbindung mit der Transportuntersuchung „Blackbox“ mit der Hypothese H1A abgebildet.

Tabelle 25: Ergebnisübersicht zu der Arbeitshypothese H1A „Blackbox“

Zahl = Teil des signifikanten Abschnittes (Mixed ANOVA in SAS)

#	Effekt Abschnittsdauer (D)	Effekt Entfernung (Weg)	Effekt Interaktion D*W
RR			
HR	4		
SDNN	4		
RMSSD	4		
pNN50			2
SI (Stress-Index)	4		
LF/HF Ratio			
DER			
SD1	4		
SD2	4		
SD1/SD2 Ratio			2
DFA a1		3	
DFA a2			2,3
PNS	4		
SNS	4		

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass fast alle Herzparameter, die im Rahmen der Untersuchung mit Kubios HRV Premium ermittelt wurden, zu irgendeinem Zeitpunkt der Prozesskette zwischen Abschnitt 2 bis 4 eine signifikante Veränderung aufwiesen, folglich wurde auch hier vielfach die Alternativhypothese der jeweiligen Tests angenommen.

Ergebnisübersicht TGA

In Tabelle 26 ist die Ergebnisübersicht der TGA Abweichungen zu entnehmen.

Tabelle 26: Ergebnisübersicht der TGA Abweichungen der Vital- und Leitparameterkombination

Abweichungen	1. Abschnitt	2. Abschnitt	3. Abschnitt	4. Abschnitt	Insgesamt
% negativ	14,55%	1,03%	3,36%	11,44%	8,01%
% positiv				33,09%	10,00%
% keine Abweichung	85,45%	98,97%	96,64%	55,47%	81,99%

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ca. 92% der Bewertungen durch das TGA als positiv detektiert wurden und nur ca. 8% als negativ. An dieser Stelle muss auf die Schlüsselrolle der EKG Amplitude hingewiesen werden, die das aktuelle Bild der negativen Abweichungen maßgeblich beeinflusst.

Ergebnisübersicht pH-Wert

Die Mittelwerte der pH-Werte sind bei beiden Transportarten über die Zeit signifikant gesunken. Die Effektstärke lässt auf einen großen Unterschied schließen (COHEN, 1992). Die Fleischreifung startet ohne phänotypische Abweichungen.

IV. DISKUSSION

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand in der Prüfung der Machbarkeit der automatisierten Erfassung von biophysikalischen Vitalparametern, dem Monitoring von weiblichen Rindern und der Kontrolle der Leitparameter für das tiergerechte Handling, während des Transportes und der Schlachtung am Beispiel eines mittelständigen Schlachthofes in Deutschland.

Zu diesem Zweck wurde der Einfluss der Transportart, die Auswirkungen der einzelnen Prozessabschnitte auf und untereinander, sowie deren Interaktionen anhand von physiologischen, Verhaltens- (mit Hilfe eines Biomoduls) und Fleischqualitätsparametern (postmortale pH-Werte), sowie eines Temple Grandin Audit (TGA) untersucht. Der zeitliche Einfluss des Transportes als „Blackbox“ auf nachfolgende Prozess-Abschnitte wurde analysiert, bei der die Faktoren Transportentfernung (Weg; d.h. kurze Transporte < 60 min oder lange Transporte > 60 min und < 240 min), Abschnittsdauer (Dauer=Zeit) und deren Wechselwirkungen ($W \cdot D$) untersucht wurden.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Frage und dem Ziel nachgegangen, ob es überhaupt technisch möglich ist, verwertbare Ergebnisse der Vitalfunktionen über 4 Abschnitte (Beladung-Transport-Entladung/Zutrieb-Betäubung/Entblutung) durch den Einsatz eines nicht invasiven Messinstruments zu erhalten. Am Anfang der Untersuchung wurde versucht, die Stichprobengröße zu ermitteln, um eine möglichst aussagekräftige **statistische Power** zu erhalten. Die vorgegebenen Stichprobengrößen waren unabhängig des zu wählenden statistischen Modells > 200, was bei dieser Betriebsgröße nicht zu realisieren war. Schlussendlich sind es weibliche Fleischrasse Rinder und ihre Kreuzungen, welche zur Erhebung für diese Arbeit herangezogen wurden. Die Anzahl der untersuchten Rinder in dieser Arbeit liegt bei $n = 15$. Es wurden $n = 10$ Rinder mit kurzen Transportweg und $n = 5$ Rinder mit langem Transportweg untersucht. Der landwirtschaftliche Ursprungsbetrieb und die **Gruppengröße** für den kurzen und langen Transportweg ist selbstverständlich nicht vorher festgelegt worden, sondern resultiert ausschließlich aus der Bedarfsplanung von Rinder-Einkauf und Transport. Bei zukünftigen Studien wäre es interessant, sowohl Fleisch- als auch Milchrinder, männliche und weibliche Tiere, in statistisch relevanten gleichen Gruppengrößen zu untersuchen. Dabei

könnten verschiedene Transportentfernungen und die Abschnittsdauer wiederum eine Rolle spielen, da die Benutzung des Zyphyr Bioharness auch GPS einschließen könnte, um per Navigation potenzielle Stressoren auf der Transportroute zu identifizieren. Diese Art der Tracking-Untersuchung ist nicht Teil dieser Arbeit, könnte allerdings für zukünftige Forschungsarbeiten von Interesse sein. In diesem Zusammenhang sollten **verkehrsbedingte Wartezeiten** der Rinder vor der Schlachtung vereinheitlicht werden, da diese in der vorliegenden Studie unterschiedlich gewesen sind. Bei weiteren Untersuchungen in Zusammenhang mit diesem Thema sollte in jedem Fall auf vergleichbare Bezugsstrukturen und Transportmöglichkeiten Wert gelegt werden. Bei längeren Transportwegen wurden ausnahmslos Rinder nach landwirtschaftlichem Ursprung getrennt, aber in der Gruppe transportiert, was die Messungen (Rohdaten) zusätzlich erschwert und wahrscheinlich auch beeinflusst hat. Bei der **Anlage des Gurtes** gab es keine Eingewöhnungsphase, da die Rinder den angebrachten Sensorgurt ausnahmslos gut akzeptierten und es keine Abwehrreaktionen oder sichtbares Reiben/Scheuern zum Abstreifen des Modulgurtes gegeben hat. Weiter muss angeführt werden, dass auch bewusst auf **Kontaktgel** verzichtet wurde, da während der Testphase eine Beeinflussung anderer Rinder beobachtet wurde. Augenscheinlich hat der atypische Geruch des Gels die Tiere neugierig gemacht, weshalb dann nur auf Wasser zur besseren Kontaktherstellung zurückgegriffen wurde. In diesem Zusammenhang hat der Jahreszeitenwechsel und damit die verbundenen Veränderungen am Fellwachstum die Messungen zum Teil erschwert. Auch seltene großflächige Verkrustungen durch Kot stellten ein Problem für die Messung dar, in diesem Fall hat aber die wirtschaftliche Auswahl der Tiere die verwertbaren Ergebnisse positiv beeinflusst, da die weiblichen Tiere nicht auf Spaltenboden gehalten wurden. Die Sensortechnik hat während der einzelnen Abschnitte **Rohdaten** gesammelt. Es gab keine technischen Ausfälle oder Totalverluste im Rahmen der Rohdatensammlung. Die ungleiche Anzahl der Messungen für den kurzen und langen Transport ist der Ursache des persönlichen Kontaktes geschuldet, da die Landwirte in unmittelbarer Nähe flexibler auf Sonderwünsche eingehen können und Stallbesuche erheblich unkomplizierter zu handhaben sind. Für die Auswertung der Herzparameter wurde durch die Software **Kubios HRV Premium** eine **automatische Artefakte-Korrektur** durchgeführt, was sich positiv auf die Datenqualität ausgewirkt hat, weil zwar relativ wenige Tiere untersucht wurden, die anhängigen Datenreihen zu den einzelnen Parametern jeweils jedoch sehr

umfangreich sind. Bei der Auswertung der Verhaltensparameter in der Statistiksoftware R wurde vorher eine manuelle Artefakte-Korrektur durchgeführt, was sich als sehr zeitaufwendig herausgestellt hat, aber diesen Umstand beschreiben auch Marchant-Forde et al. (2004) bei der Evaluierung eines Brustgurtes der Firma Polar im Vergleich zu einem EKG-Gerät. Bei der Bewertung der Studie muss erneut betont werden, dass die eingesetzte Technik des BioHarness 3 (Zephyr) und die Software Kubios HRV für den **Einsatz am Menschen** konstruiert wurden. So sollte zum Beispiel geprüft werden, ob sich eine Größenveränderung des Elektrodenkissens positiv niederschlägt. Leider mussten **ca. 25%** der Messungen aufgrund von Artefakten von der **Auswertung ausgeschlossen** werden, da zum Beispiel der Gurt auf dem Transport verrutscht ist oder sich verdreht hatte. Grundlegend sollte beachtet werden, dass alle in Kubios HRV untersuchten Herzparameter von einem **EKG-Signal** abgeleitet werden. Ungeachtet dieser Kritik ist die Vielzahl von zusätzlichen Herzparametern, die die Software Kubios HRV bietet, eine Möglichkeit das bestehende Diskussionsspektrum erheblich auszudehnen. In dieser Untersuchung waren die Rinder in Abschnitt 3 und 4 in einer zwangsweisen **klinisch kritischen Situation**, bei der Wechselwirkungen der hervorgerufenen Blutungen mit Volumenmangelschock und Zirkulationsstörungen, Traumata mit Gewebsschädigungen, Sauerstoffmangel und beginnendes Multiorganversagen die Parameter entscheidend beeinflusst haben. Die Verhaltens-Daten und die Herzfrequenz zur visuellen Darstellung und Beurteilung des **TGA** wurden in Excel dargestellt.

6. Physiologische Parameter

Die festgelegten Hypothesen H1, H1A, H2 und H3 (Tabelle 27) sind in der Grundstruktur gleich aufgebaut, so dass es während der einzelnen Prozessabfolgen keine Unterschiede oder Beeinflussungen der verschiedenen Parameter durch die Faktoren geben sollte.

Tabelle 27: Übersicht der Hypothesen

H1: „Es bestehen bezüglich der Länge des Transportes (Transportentfernung) keine Unterschiede hinsichtlich der verschiedenen Parameter.“
H1.A Die Transportentfernung (Weg) von Rindern zum Schlachthof, ohne direkten menschlichen Kontakt, beeinflusst als „ Blackbox “ in spezieller Weise die Herzparameter der Rinder. Die Abschnittsdauer hat grundsätzlich keine Auswirkungen auf weitere Prozesse.
H2: „Es bestehen bezüglich des Abschnitts im Produktionsprozess keine Unterschiede hinsichtlich der verschiedenen Parameter.“
H3: „Es besteht keine Interaktionen zwischen den Abschnitten mit der Länge des Transportes.“

Mittelwerte der RR-Intervalle (Mean RR)

Der Faktor Transportentfernung (lang/kurz) verhält sich nach H1 nicht hypothesenkonform und zeigte sich signifikant bezüglich der Mittelwerte der RR-Intervalle (Mean RR), die bei der Gruppe von Rindern mit kurzer Transportdauer über die gesamte Zeit hinweg signifikant höher sind. In diesem Fall verursacht wahrscheinlich der Parasympathikus eine Erhöhung der HRV, da sich der Organismus in einer Erholungsphase befindet (TOBER et al., 2014). Dies könnte in der vorliegenden Arbeit damit zu tun haben, dass die Rinder auf dem längeren Transportweg immer nach landwirtschaftlichen Betrieben getrennt, aber in einer bereits im Stall zusammengehörenden Gruppe transportiert wurden, während der kurze Transportweg grundsätzlich nur mit einem Rind durchgeführt wurde. Der Interquartilsabstand bestätigt diesen Eindruck nochmal, da er beim längeren

Transport, im Vergleich zum kurzen Transport in jedem Abschnitt kleiner ist, d.h. dass hier die gemessenen Daten dichter zusammenliegen und zufällige Messfehler wenig wahrscheinlich sind.

Auch die für H2 untersuchten Mittelwerte der RR-Intervalle sind im Abschnitt 3 signifikant höher als im Abschnitt 4. Wahrscheinlich ist es für das Einzeltier in Abschnitt 3 (Entladung/Zutrieb) eine noch komfortablere Situation, den Transport zu verlassen, als für die Rinder beim längeren Gruppentransport. Grundsätzlich reduzieren sich beim langen Transport die RR-Intervalle während der Fahrt, was auf den Einsatz des Sympathikus hindeuten könnte, da bei steigenden Anforderungen an den Organismus, durch beispielsweise Stressoren, mit einer Senkung der HRV zu rechnen ist.

Diese Ergebnisse stehen auch im Einklang mit der Studie von HÖDL (2010) über den mehrfachen Transport von Pferden und die Stressauswirkungen, in der eine Reduktion der RR-Intervalle während des Transportes festgestellt wurde. Interessanterweise ist die HRV der länger transportierten Rinder über die einzelnen Abschnitte, auf niedrigerem Niveau, relativ konstant geblieben, was besonders auch im Abschnitt 4 (Betäubung/Entblutung) auffällt. Eventuell könnte dieses Niveau der HRV mit der Federwirkung der Gruppenstruktur zusammenhängen. Potenzielle Stressoren können durch die Schutzwirkung der Gruppe oder Herden besser abgemildert werden und kommen weniger störend bei dem jeweiligen Individuum an (WASILEWSKI, 2003). In diesem Zusammenhang wäre es sicherlich sehr interessant zu erfahren, wie sich die HRV bei Rindern aus unterschiedlichem sozialen Gefüge verändern würde, die nicht aus der gleichen Gruppe oder Herde stammen und Rangkämpfe aktuell eine untergeordnete Rolle spielen. Die HRV wird jedoch in hohem Maße durch das Verhalten der Tiere beeinflusst, so reduziert sich die Herzfrequenz, wenn die HRV ansteigt.

Die Untersuchung des Transportes als „Blackbox“ für H1A und die Interaktionen H3 bestätigen die Hypothesen, dass es keine Unterschiede oder Beeinflussungen gegeben haben könnte. Man sollte diesen HRV-Parameter bei der Bewertung allerdings unter Vorbehalt betrachten, da die Rinder nicht in gewohnter Umgebung und auf einem unbekanntem Transportfahrzeug standen. Bei den untersuchten Rindern fanden keine Ruhemessungen statt, es wurde direkt mit der Messung im Abschnitt 1 begonnen und endete

mit Abschnitt 4. In folgenden Studien sollten vorher Ruhemessungen durchgeführt werden, um das Ergebnis besser im Zusammenhang diskutieren zu können.

Mittlere Herzfrequenz (Mean HR)

Die mittlere Herzfrequenz (Mean HR) verhält sich hypothesenkonform, so dass statistisch keine Unterschiede für H1, H2 und H3 festgestellt werden konnte. Einzig die H1A „Blackboxuntersuchung“ hat für die Transportdauer eine Reduktion der mittleren Herzfrequenz am Anfang des 4. Abschnitts festgestellt. Die mittlere Herzfrequenz (Mean HR) befindet sich in allen Abschnitten oberhalb des von JANZKOVIC et al. (2010) ermittelten physiologischen Ruhebereiches bei Rindern von 50-80 bpm. Auffallend ist, dass sich nach dem Transport nur das Niveau der mittleren Herzfrequenz des kurzen Transportes wieder reduziert. Insgesamt ist die Tendenz der Herzschläge pro Minute des langen Transportes höher, als die des kurzen Transportes. Veränderungen der Herzfrequenz sind grundsätzlich bedingt durch das autonome Nervensystem. Ein Anstieg der Herzfrequenz deutet auf eine Verminderung des vagalen Einflusses, sowie eine erhöhte Aktivität des Sympathikus hin (TOBER et al., 2014). HENKE (2003) kommt zu dem Ergebnis, dass es mit steigender Fahrzeit häufig zu belastenden Ereignissen (Bremsen, Stau, Ortsdurchfahrten) für einzelne Tiere kommen kann, was sich in der steigenden Herzfrequenz > 150 bpm äußern kann. In einer Untersuchung von REICHE et al. (2019) über den Stress von Jungbullen bei Transport und Schlachtung wurden ähnliche Ergebnisse ermittelt. In der vorliegenden Arbeit ist die mittlere Herzfrequenz in Abschnitt 3 um ca. 10-20 % geringer als im Abschnitt 2, dem Transport. Wahrscheinlich steigt in diesem Abschnitt der Einfluss des Parasympathikus durch die reduzierte Herzfrequenz im Verhältnis zum Sympathikus. Der Abschnitt 3 mit Entladung der Tiere und Zutrieb findet am Schlachthof statt. Bemerkenswert ist, dass die Herzfrequenzen bei Entladung und Zutrieb im Bereich des kurzen Transportes, wie bereits geäußert, um ca. 20 % geringer ausfällt als bei der Beladung in vertrauter Umgebung am heimischen Stall. Im Abschnitt 3 beim kurzen Transport fällt außerdem der starke Rückgang der Herzfrequenz um ca. 20% auf, was in der Folge auf eine Erhöhung der HRV hindeutet. Eventuell erhöht die ungewohnte Situation des Transportes, mit unvorhersehbaren Bewegungen des LKW, die mittlere Herz-

frequenz. In Abschnitt 3 könnten die Rinder die Entladung als Befreiung von Zurückhaltung empfinden, obwohl eine neue Umgebung, eine andere Geräuschkulisse und unbekanntes tierbezogenes Personal die motorische Belastung der Rinder beeinflussen könnten. Kurze Wartezeiten sorgen für eine Erholung der Tiere, allerdings führen lange Wartezeiten zu einem Energiedefizit (SCHWÄGELE, 1998). Der Abschnitt 4 befasst sich mit dem Vorgang des Betäubens und Entblutens. Hier gibt es einen zeitlichen Effekt der Dauer mit einer Reduktion der mittleren Herzfrequenz in Minute 0 bis 5 im Vergleich zu den Minuten 5 bis 10. Kurzzeitig kommt es nach dem Bolzenschuss zu einem Aussetzen der Herztätigkeit. Die mittlere Herzfrequenz steigt dann wieder an, wobei der kurze Transport mit ca. 30-40 % Anstieg deutlich über der Steigerung von ca. 10 % des langen Transportes liegt. Grund hierfür könnte sein, dass das Zephyr BioHarness auch nach dem Null-Linien EKG weiter aufgezeichnet hat und Fremdsignale, wie zum Beispiel die Schnappatmung, das Signal überlagert haben. Weiter könnte es sein, dass das Signal durch eine am Tier arbeitende Person beeinflusst wurde, da nach dem Ausbleiben sämtlicher Kontrollreflexe des Bewusstseins, die Vordergliedmaßen abgetrennt werden. Der Gurt mit dem Biomodul wurde nach dem Blutentzug erst nach dem Absetzen des Kopfes gelöst und ausgeschaltet, um alle Reize zu erfassen. Nach RIEK (1980) erhöht sich im Anschluss an das traumatisierende Schussgeschehen die Herzfrequenz. Dies erfolgt unter anderem durch die Ausschüttung von Adrenalin. Auftretende Zuckungen und Krampfanfälle werden durch eine gesteigerte medulläre und spinale Reflextätigkeit hervorgerufen, die durch die fehlende Aktivität des Großhirns ausgelöst werden; diese stehen nicht im Zusammenhang mit Schmerzreaktionen. Durch die Eröffnung des Blutkreislaufes kommt es zu einem hypovolämischen Schock. In dieser zweiten Phase der Schlachtung nutzt der Körper alle Mittel der Kompensation, um das verbleibende Blut in die lebenswichtigen Organe zu pumpen. Das Herz und das Gehirn sind bei weiterem Blutverlust die letzten Organe, die bis zum Entspannungskollaps versorgt werden. HILSENBECK (2007) und REICHE et al. (2019) haben herausgefunden, dass in ihrer Studie die Betäubungs-Situation die höchsten Herzfrequenzen erzeugt hat. Weitere Studien im Bereich des Abschnitt 2 (Transport) und 4 (Betäubung/Entblutung), auch in Verbindung mit anderen Parametern, könnten die Datenlage verdichten, um für gesicherte Erkenntnisse zu sorgen.

Standardabweichung der RR-Intervalle (SDNN).

Der Faktor Transportentfernung verhält sich nach H1 und H3 hypothesenkonform und zeigte sich nicht signifikant bezüglich der Standardabweichung der RR-Intervalle (SDNN). Die Mittelwerte der SDNN sind in Abschnitt 1 höher als in allen anderen Abschnitten. Ein hoher Wert, gemessen in ms, entspricht einer großen Herzfrequenzvariabilität. Eine Erhöhung des Parameters SDNN zeigt auch eine veränderte autonome Balance, wo verstärkt die Aktivierung des Parasympathikus stattfindet. Die Untersuchung des Transportes als „Blackbox“ für H1A verwirft die Hypothese, weil in Abschnitt 4 die Dauer des Transportes einen Einfluss auf die SDNN hat. Hier fand eine Erhöhung der SDNN in Minute 0 bis 5 im Gegensatz zu Minute 5 bis 10 statt. In der Studie von JANDA et al. (2006) über die vollautomatisierte HRV-Erfassung bei Milchkühen befindet sich die SDNN bei 163.6 ± 26.9 ms, bei Aufnahmen länger als 30 Minuten. Die Messungen in dieser Arbeit bewegen sich in diesem Rahmen auf. STOJKOV et al. (2015) haben herausgefunden, dass sich bei Rindern niedrigere SDNN-Werte bei schmerzhaften Stimuli manifestieren. Allerdings wurde nicht untersucht, wo sich bei der Bewertung der SDNN die Untergrenze befindet, ab der eine Reduzierung durch die Stimuli wirklich Schmerzen bedeuten könnte. Auch die für H2 untersuchten Mittelwerte der SDNN reduzieren sich signifikant ab dem Abschnitt 1, allerdings erhöhen sie sich bemerkenswerterweise zum Abschnitt 4 auch wieder. Der Interquartilsabstand verringert sich ab dem Abschnitt 1 bei beiden Transportarten über die restlichen Abschnitte, wobei die lange Transportdauer einen nochmal geringeren Abstand aufweist. Limitierend für die Aussage der homogenen Datelage ist sicherlich die Größe der Stichprobe mit $n=5$. Die Wechselwirkung und gegenseitige Beeinflussung der Stress-Schmerz-Interaktion über die einzelnen Abschnitte ist in jedem Fall durch weitere Studien zu vertiefen, da die Auswirkungen der Betäubung auf die SDNN als elementarer Eingriff in den Gesamtorganismus noch nicht ausreichend durch andere Studien verifiziert wurden.

Darstellung des Vagustonus (RMSSD)

Der Faktor Transportentfernung verhält sich nach H1 und H3 hypothesenkonform und zeigt sich nicht signifikant bezüglich der Darstellung des Vagustonus (RMSSD).

Die RMSSD ist in Abschnitt 1 (Beladung) und 4 (Betäubung/Entblutung) am höchsten. Werte auf hohem Niveau deuten auf eine Aktivierung des Parasympathikus hin und sind mit einer Erholung des Organismus zu vorherigen Situationen verbunden. Theoretisch gilt: Je höher dieser Wert, desto besser ist die Erholungsfähigkeit des Körpers und die Bremse des „Nervensystems“. Zu beobachten ist, dass die Bremse des „Nervensystems“ im Abschnitt 2 und 3 am geringsten ist. Je niedriger der RMSSD, desto mehr wird der Sympathikus aktiviert und die angeborenen Mechanismen können Überhand nehmen und Reflexe in den Vordergrund treten, was für Flucht oder Verteidigung (Fight or Flight) sprechen würde. Die Untersuchung des Transportes als „Blackbox“ für H1A verwirft die Hypothese, da es einen statistischen Effekt der Dauer des Transportes auf die RMSSD in Abschnitt 4, mit einer Erhöhung der RMSSD in Minute 0 bis 5 im Gegensatz zu Minute 5 bis 10, gibt. In der Studie von JANDA et al. (2006) über die vollautomatisierte HRV-Erfassung bei Milchkühen befindet sich der RMSSD bei 53.1 ± 22.9 ms, bei Aufnahmen länger als 30 Minuten. Auch die für H2 untersuchte RMSSD verwirft die Hypothese, da sich die RMSSD zunächst signifikant vom Abschnitt 1 zu 2 verringert, um dann wieder signifikant zum Abschnitt 4 anzusteigen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit weichen von den Ergebnissen ab, die in der JANDA- Studie gefunden wurden. Wahrscheinlich ist der Unterschied in der Altersstruktur begründet, da es sich in der vorliegenden Arbeit um Fleischrasse Rinder handelt und in der Studie von JANDA et al. um Milchkühe. Eventuell nimmt die schnelle Erholungsfähigkeit mit zunehmendem Alter und der Doppelnutzung (Milch/Fleisch) immer weiter ab. Ein weiterer Grund könnte der Effekt der Methode sein, die zur Messung der RMSSD verwendet wurde. Vielleicht ist die Erkennung und die damit verbundene Korrektur des EKG-Signals durch die Software Kubios HRV nicht fein genug detektiert. In folgenden Studien ist es somit empfehlenswert, auf die Verfeinerung der Erkennung und Analyse der korrigierten Daten zu achten. Die weitere Literatur ist in diesem Fall nicht eindeutig, da KOVÁCS et al. (2015a) in ihrer Schmerz-Studie über die Stressparameter bei lahmen und nicht lahmen Kühen eine Steigerung des RMSSD bei Lahmheit mit den dadurch verbundenen Schmerzen beobachtet haben. Es wird aber

vermutet, dass der Körper als Schutzmechanismus Opioide freisetzt, die die Tiere vor zu heftiger Stressreaktion im Zusammenhang mit chronischen Schmerz-Stimuli schützt und die Sympathikus-Aktivität unterdrückt (LOIJENS et al., 2002). In ihrer anderen Studie über das Temperament und die Verhaltensweisen von Milchkühen gegenüber Menschen beobachteten KOVÁCS et al. (2015b) eine Senkung der RMSSD in Stress-Situationen; allerdings kann Bewegungsaktivität die HRV beeinflussen und damit die Ergebnisse verändern. In der Untersuchung von RUIS et al. (2001) bei reaktiven und proaktiven Schweinen wurde eine Steigerung der RMSSD bei neuartigen Umgebungs- und Objekttests beobachtet. Weiterführende Studien sind in diesem Fall angebracht, um die Datenlage besonders auch bei Rindern zu festigen.

RR-Intervallen mit mehr als 50 ms Abweichung (pNN50)

Die Untersuchung des Transportes als „Blackbox“ für H1A verwirft die Hypothese, da es während des kurzen Transportes einen Effekt der Weg \times Dauer Wechselwirkungen mit einer Erhöhung der pNN50 in Minute 10 bis 15 im Gegensatz zu Minute 40 bis 45 gegeben hat. Der Prozentsatz von aufeinanderfolgenden RR-Intervallen mit mehr als 50 ms Abweichung (pNN50) scheint über die Abschnitte hinweg konstant zu sein, in den Abschnitten 1 und 4 ist er jedoch etwas höher. Eine Erhöhung des pNN50 deutet auf vermehrte parasympathische Aktivitäten hin. Darüber hinaus scheint der pNN50-Wert bei der langen Transportdauer höher zu sein als bei den der Kurzen, was sich jedoch statistisch nicht zeigt. Bei Betrachtung dieses Parameters liegt die Vermutung nahe, dass in Abschnitt 1 und 4 die Reflexneigung in den Vordergrund tritt, da die parasympathische Aktivität des vegetativen Nervensystems ansteigt. In der Studie von JANDA et al. (2006) über die vollautomatisierte HRV-Erfassung bei Milchkühen befindet sich der pNN50 bei $6.3 \pm 2.2\%$. Wie schon beim vorherigen Parameter RMSSD, weicht diese Studie stark von den hier festgestellten Ergebnissen ab, so dass die pNN50 über die Abschnitte 1 bis 4 bei kurzem und langem Transport zwischen $40.97 \pm 25.11\%$ und $96.11 \pm 84,62\%$ liegt. Leider gibt es zu diesem Parameter aktuell keine weiteren vergleichbaren Forschungsarbeiten, daher ist eine umfassende Bewertung schwierig. Um eine bessere Vergleichbarkeit und Verdichtung der Ergebnisse zu erhalten, könnten in folgenden Studien unterschiedlich geschlechtliche Gruppen in verschiedenen Umgebungen untersucht werden.

Die Untersuchung des Transportes als „Blackbox“ für H1A verwirft die Hypothese, da die Dauer des Transportes in Abschnitt 4 einen statistischen Effekt auf den Stress-Index mit einer Reduktion des SI in den ersten 5 Minuten im Vergleich zur 5. bis 10. Minute hat.

Stress-Index (SI),

Der Stress-Index (SI), der die Anpassungsfähigkeit des Herzens oder die Höhe der Herzratenvariabilität bezeichnet, verändert sich über die Abschnitte wellenförmig, wobei der Abschnitt 1 als Wellental beginnt. Grundsätzlich gilt, je niedriger der Stressindex, desto besser ist die Herzratenvariabilität, weil auch die RR-Intervalle variabler ausfallen. In dieser Studie ist dieser Parameter bei der Anwendung mit Rindern nicht aussagekräftig, da beispielsweise ein gutes Verhältnis zwischen Sympathikus und Parasympathikus bei der Humanmessung ein Wert zwischen 30-150 Punkten wäre. In der vorliegenden Arbeit liegt er bei den untersuchten Rindern zwischen 2.86 und 5.05 Punkten über die 4 Abschnitte.

LF/HF Ratio im Frequenzbereich (Frequency Domain)

Der Faktor Transportdauer verhält sich nach H1, H1A, H2 und H3 hypothesenkonform und zeigte sich nicht signifikant bezüglich der LF/HF Ratio im Frequenzbereich (Frequency Domain). Die LF/HF Ratio steigt und fällt in der vorliegenden Arbeit über die 4 Abschnitte wellenförmig, wobei der Abschnitt 1 als Wellenberg startet. Naturgemäß entsteht eine gesteigerte Sympathikus-Aktivierung im Abschnitt 1 (Verladung) und Abschnitt 3 (Entladung/Zutrieb). Bemerkenswert ist, dass die Erhöhung der LF/HF Ratio im Bereich des Abschnitts 3 (Entladung/Zutrieb) später in Abschnitt 4 (Betäubung/Entblutung) wieder sinkt. Dieses Ergebnis findet sich auch in der Kastrationsstudie an Jungbulen von STEWART et al. (2010) wieder, da es unter lokaler Betäubung zu einer LF-Erniedrigung im Gegensatz zur präoperativen Untersuchung kam. Wichtig ist in diesem Zusammenhang allerdings, dass diese Untersuchungen unter Zwangsmaßnahmen stattfanden, die die Ruhemessungen beeinflusst haben könnten und folglich die sympathische Aktivierung zu einem präoperativen Anstieg der LF geführt haben könnte. Auch bei Kühen mit Metritis sank die LF während der rektalen Palpation des Uterus (STOJKOV et al., 2015). KOVÁCS et al. (2015a) haben in ihrer Studie über die Stressparameter bei lahmen

und nicht lahmen Kühen eine Senkung der LF/HF Ratio festgestellt, da auch in diesem Fall chronische Schmerzstimuli die Ratio senken können. Allerdings muss, wie bereits bei der RMSSD erwähnt, diese Aussage aufgrund der ungeklärten Rolle der Opiode unter Vorbehalt erfolgen. In der Studie von JANDA et al. 2006 über die vollautomatisierte HRV-Erfassung bei Milchkühen befindet sich die LF/HF Ratio bei 4.73 ± 2.0 . In der vorliegenden Studie schwankt die LF/HF Ration bei kurzen und langen Transporten zwischen 0.42 ± 0.28 und 0.98 ± 0.35 . Wahrscheinlich führen die Untersuchungen von JANDA et al. (2006) zu einer deutlicheren sympathischen Aktivierung, als es die Stimuli in der vorliegenden Arbeit tun. In der anderen Studie von KOVÁCS et al. (2015b) über das Temperament von Milchkühen wird eine Erhöhung der LF/HF Ratio bestätigt, wenn unbekannte Menschen in der Nähe der Tiere sind. Dieses Ergebnis stimmt mit der Steigerung der Ratio in der vorliegenden Arbeit für Abschnitt 3 überein, erklärt aber nicht die Absenkung in Abschnitt 4. Auch hier ergibt sich ein weiteres Forschungsfeld, um gesicherte Erkenntnisse über weitere die Herzparameter beeinflussende Effekte zu gewinnen, da die Ergebnisse zur LF/HF Ratio nicht signifikant sind.

Die EDR (EKG abgeleitete Atmung)

Die Untersuchung des Transportes als „Blackbox“ für H1A bestätigt die Hypothese, dass es keine Unterschiede oder Beeinflussungen gegeben haben könnte, da keine statistisch signifikanten Ergebnisse gefunden wurden. Die EDR (EKG abgeleitete Atmung) scheint über die Abschnitte hinweg konstant zu bleiben. Die Detektion der Atmung durch den Drucksensor des Gurtes scheint in der vorliegenden Arbeit bessere Ergebnisse zu ermitteln als die abgeleitete Atmung aus dem EKG. Unklar bleibt in diesem Zusammenhang die Gewichtung der respiratorischen Sinusarrhythmie in der Berechnung der Ableitung. Auch dieser Parameter ist für weitere Forschungsarbeiten grundsätzlich ungeeignet, da mit der über einen Drucksensor ermittelten Atemfrequenz wahrscheinlich genauere Ergebnisse detektiert werden. Ein Vergleich von EDR und Atemfrequenz ist nicht Bestandteil der Arbeit.

SD1 und SD2

Die Untersuchung des Transportes als „Blackbox“ für H1A verwirft die Hypothese, da es keinen Weg-Effekt, aber einen Dauer-Effekt gibt, der die SD1 und SD2 in Abschnitt 4, mit einer Erhöhung in Minute 0 bis 5 im Gegensatz zu Minute 5 bis 10 beeinflusst. Die SD1 und SD2 starten in Abschnitt 1 mit den höchsten Werten und fallen anschließend in Abschnitt 2 ab, um über die restlichen Abschnitte kontinuierlich wieder anzusteigen.

SD2/ SD1 Ratio

Die Werte der SD2/ SD1 Ratio steigen beim kurzen Transport über die Abschnitte an, um im letzten Abschnitt wieder zu fallen. Statistisch beeinflussen weder der Weg, noch die Dauer die SD2/SD1 Ratio über die Abschnitte hinweg. In Abschnitt 2 hatten jedoch Weg × Dauer-Wechselwirkungen einen Effekt auf die SD2/SD1 Ratio mit einer Reduzierung in den Minuten 10 bis 15 im Vergleich zu den Minuten 45 bis 50 bei kurzem Transport. Bei langen Transporten stellen sich die Ergebnisse nicht so eindeutig dar, weil wahrscheinlich das Handling in der Gruppe die Tiere und damit die gemessenen Werte beeinflusst. Es ist wahrscheinlich eine Mischung aus Ruhe und Sicherheit in der Gruppe beim Transport und Folgezwang beim Zutrieb, aus Angst alleine zurückzubleiben (WASILEWSKI, 2003). KOVÁCS et al. (2015a) beobachteten ebenfalls eine Steigerung der SD1 und eine Senkung der SD2/SD1 Ratio bei lahmen Kühen durch chronisch schmerzbeeinflussende Stimuli; diese Interpretation ist aber aufgrund der ungeklärten Rolle der Opiode unter Vorbehalt zu sehen.

Die Untersuchung des Transportes als „Blackbox“ für H1A verwirft die Hypothese, dass es keine Unterschiede gegeben hat, da es zwar keinen Dauer-Effekt und keinen Weg-Effekt gegeben hat, aber dafür haben die Weg × Dauer-Wechselwirkungen (W*D) die SD2/SD1 Ratio in Abschnitt 2 (Transport), mit einer Erhöhung der SD2/SD1 Ratio in Minute 10 bis 15 im Vergleich zu den Minuten 40 bis 45 bei langem Transport beeinflusst.

Im Rahmen der **Fluktuationsanalyse und Fluktuationsneigung (DFA)** in der vorliegenden Arbeit steigt Alpha 1 grundsätzlich über alle Abschnitte an und nähert sich dem Wert 1, bis es in Abschnitt 4 zu einer Reduktion kommt. Alpha 1 beschreibt die kurzfristige

Schwankung und Selbstähnlichkeit der HRV-Signale, weitgehend zufällige Herzratenveränderung und nur schwache Interaktion mit dem sympathischen Nervensystem. In Abschnitt 3 beim kurzen Transport liegt er kurzfristig sogar > 1 , was dem Normalwert entspricht. In Abschnitt 4 fällt Alpha 1 wieder deutlich unter 1, welches eine schwächer werdende Interaktion mit dem sympathischen Nervensystem und ein erstarkendes autonomes (vegetatives) Nervensystem mit stärker werdendem Fight & Flight-Reflexen bedeutet. Alpha 1 lässt Rückschlüsse zu, ob das vegetative oder sympathische Nervensystem auf ein unterschiedliches Reizgefüge mit umfassenden physiologischen Reaktionen antwortet, um eine körperliche Stabilität beizubehalten oder ob es nur von wenigen Einflüssen blockiert wird (Stress, körperliche Anstrengung oder Angst) und dadurch auch der Herzschlag weniger variabel und mehr gelenkt stattfindet. Je größer Alpha 1, desto weicher und glatter verändern sich die RR-Intervalle. Beim kurzen Transport steigen die Werte bis Abschnitt 3 an, um dann in Abschnitt 4 zu fallen. Beim langen Transport gleichen sich die Abschnitte 2 und 3 und fallen in Abschnitt 4 ab. Auch KOVÁCS et al. (2015a) haben in ihrer Studie bei lahmen Kühen eine Senkung der Alpha 1 und Alpha 2 bedingt durch Schmerzstimuli herausgefunden. Allerdings handelt es sich, wie gesagt, um chronische Schmerzzustände. Allgemein sollte hier die Forschung vertieft werden, da eine Bewertung des vorhandenen Datenmaterials nur unzureichend möglich ist.

Para- und sympathischer Index (PNS & SNS)

Die Untersuchung des Transportes als „Blackbox“ für H1A verwirft die Hypothesen der Parameter PNS und SNS dass es keine Unterschiede gegeben hat. Der PNS ist ein parasympathischer Index, der im Ruhezustand zwischen -2 und +2 liegt. In der vorliegenden Arbeit reduziert sich der PNS von Abschnitt 1 nach Abschnitt 2, um dann über die restlichen Abschnitte wieder anzusteigen. Auffällig ist in diesem Fall der tiefe Sturz um ca. 75% beim kurzen Transport vom Abschnitt 1 zu Abschnitt 2. Statistisch gibt es keinen Weg-Effekt und auch keinen Effekt der Weg \times Dauer-Wechselwirkungen (W*D), aber einen Dauer-Effekt, der den PNS in Abschnitt 4 (Betäubung/Entblutung) beeinflusst, mit einer Erhöhung der PNS in der Minute 0 bis 5 im Gegensatz zu Minute 5 bis 10. Der SNS ist ein sympathischer Index, der im Ruhezustand ebenfalls zwischen -2 und +2 liegt. In der vorliegenden Arbeit liegt der SNS der untersuchten Rinder auf dem langen Transport

(Weg) in allen Abschnitten höher als der von den Rindern auf dem kurzen Transport (Weg). Statistisch gibt es einen Dauer-Effekt, der den SNS in Abschnitt 4 (Betäubung/Entblutung) mit einer Reduktion der SNS in der Minute 0 bis 5 im Gegensatz zu Minute 5 bis 10 beeinflusst. Bemerkenswert sind trotzdem die relativ moderaten Werte der PNS- und SNS-Indizes über alle Abschnitte, da sie im Durchschnitt zwischen 0.8 und 5.4 schwanken. Leider gibt es aktuell zu diesen Parametern noch keine Studien anderer Autoren im Zusammenhang mit Tieren, daher lassen sich Vergleiche aktuell nicht anstellen. Es scheint aber so zu sein, dass die in dieser Arbeit untersuchten Rinder erheblich stressstabiler waren, als vorher angenommen. Weitere Forschungsfelder im Zusammenhang mit unterschiedlichen Geschlechtern und einer steigenden Anzahl an getesteten Tieren wären für eine belastbare Datengrundlage von Vorteil, um die weitere Verdichtung von Niedrig- und Hochstress-Niveau in Verbindung mit der Definition von Stressgrenzen zu etablieren.

EKG-Amplitude

Die Interaktionseffekte (Transportentfernung*4 Abschnitte) verhalten sich nach H3 nicht hypothesenkonform und zeigen sich signifikant bezüglich der EKG-Amplitude. In Abschnitt 1 liegt die EKG-Amplitude der Gruppe mit der kurzen Transportentfernung noch oberhalb der Gruppe mit der langen Transportdauer. Dies dreht sich in den folgenden Abschnitten um und ist in Abschnitt 4 deutlich unterschiedlich zugunsten einer höheren EKG-Amplitude der Gruppe mit der langen Transportentfernung, verglichen mit der Gruppe mit der kurzen Transportentfernung.

Der Parameter stellt das Erregungsverhältnis im QRS-Komplex dar, welches Aufschluss über eine Störung der Erregungsausbreitung am Ventrikel sein könnte. Resultierend aus den Ergebnissen in dieser Arbeit, könnte es erwähnenswerte Ausschläge immer dann geben, wenn nervlich bedingte Reize über das Rückenmark auf den Tierkörper wirken, zum Beispiel beim Elektrotreibereinsatz oder beim Absetzen des Kopfes. Sogenannte Spasmen oder Krämpfe der Koronargefäße im Rahmen der Betäubung in Abschnitt 4 führen zur irreparablen Schädigung des Zentralnervensystems und einem akuten Myokardinfarkt (Herzinfarkt). Es ist nicht ausgeschlossen, dass die EKG-Amplitude bei diesem finalen Eingriff von anderen Faktoren überlagert wird, daher sind auch in diesem Fall

weitere Studien zur Festigung der Ergebnisse notwendig. Grundsätzlich führt die respiratorische Sinusarrhythmie zu einer Steigerung beim Ein- und Senkung beim Ausatmen, was das EKG durch vergrößerte Abstände der R-Zacken verdeutlicht. Schnelles Luftholen, herbeigeführt durch Erschrecken aufgrund eines Reizes, beeinflusst neben der Atemfrequenz auch die Herzfrequenz und EKG-Amplitude. Weitere Ausschläge der EKG-Amplitude könnten zum Beispiel als Finalreiz beim Absetzen des Kopfes entstanden sein, wobei das Tier dann schon ausgeblutet ist und es sich wahrscheinlich um Reize bei der Durchtrennung des Rückenmarks gehandelt hat. Leider gibt es keine weiteren (aktuellen) Forschungsarbeiten, die sich mit der EKG-Amplitude bei Rindern befassen haben. Daher ist es sicherlich von Interesse, bei weiteren Arbeiten zu diesem Thema, diesen Parameter zu verifizieren und mit einer ausreichenden Datengrundlage auszustatten, damit sich erhellt, was der Parameter EKG Amplitude im Vitalgeschehen tatsächlich abbildet.

Atemfrequenz (BR)

Der Faktor Transportentfernung verhält sich nach H1 nicht hypothesenkonform und zeigte sich signifikant bezüglich der Atemfrequenz (BR), da die Rinder mit der kurzen Transportentfernung eine niedrigere Atemfrequenz aufwiesen. Für die Untersuchung der H2 und H3 wird wiederum die Hypothese bestätigt, dass es keine Unterschiede oder Beeinflussungen gegeben haben könnte. Die Atemfrequenz der untersuchten Rinder liegt über die verschiedenen Abschnitte bei beiden Transportentfernungen innerhalb des physiologisch neutralen Bereichs für Rinder von 10-30 Atemzügen/min (BAUMGARTNER, 2009). Bemerkenswert ist, dass trotz der unterschiedlichen Prozessabschnitte und unabhängig von der Transportart, die Atemfrequenz auf relativ niedrigem Niveau bleibt. Auch der Interquartilsabstand beschreibt eine grundsätzlich dicht zusammenliegende Stichprobe, wo selbst der starke Ausreißer noch bei <35 Atemzügen/min liegt. Es wird demnach zu keinem Zeitpunkt der Abschnitte 1-4 die physiologische Obergrenze von 40 Atemzügen pro Minute erreicht (BAUMGARTNER, 2009).

In Abschnitt 4 setzt nach der Betäubung die Atemtätigkeit aus, da das Atemzentrum im verlängerten Mark geschädigt wurde. Die Registrierung weiterer Atemzüge durch das BioHarness 3 kann keine geregelte Atmungsaktivität feststellen, da keine Maulatmung vorliegt und die Lunge keine weitere Luft bekommt. Die reflexartige Atemaktivität ist ein

Zeichen für die steigende Kohlendioxidkonzentration im Blut. Ausgelöst durch Chemo-Rezeptoren ähnelt dieses Phänomen der Schnappatmung, wie es schon bei der Elektrobetäubung von Rindern festgestellt wurde (AICHINGER, 2003). Auch der erhöhte Druck der Organe der Bauchhöhle auf den Brustraum und die Lunge durch die hängende Position verstärkt das Auftreten dieses Effektes. Dieser Effekt verstärkt wahrscheinlich sogar die respiratorische Sinusarrhythmie in ihrer Wirkung auf das Herz, da beim Einatmen die Frequenz sinkt, während sie beim Ausatmen steigt. Bei zukünftigen Forschungsarbeiten sollte der Zeitraum nach der Betäubung noch exakter detektiert werden, um die Datelage weiter zu verdichten.

Körpertemperatur (Core Temp)

Die Untersuchungen der H1, H2 und H3 bestätigen die Hypothesen, dass es für die Körpertemperatur „Core Temp“ keine Unterschiede oder Beeinflussungen gegeben haben könnte. Die Körpertemperatur reagiert zeitversetzt auf externe Einflüsse, was auch erklärt, warum die Temperaturen im Abschnitt 1 relativ niedrig sind. Aufgrund der optimaleren Fahrzeugbelüftungstechnik beim langen Transport, kommt es je nach Zustand der Tiere nach dem Beladen erstmal grundsätzlich zur Abkühlung der Tiere, da auch der LKW-Aufbau kalt ist und gesteuerte Belüftungsströme für eine Umwälzung der Luft während des Transportes sorgen. Im Winter kann man häufig beobachten, dass die Wände von Rinderställen bei Temperaturen $< 0\text{ °C}$ aufgrund von kondensiertem Wasserdampf feucht sind. Erst wenn die Abgabe der Körperwärme den Aufbau aufgeheizt hat, steigt auch die Körpertemperatur, weil sich die Umgebungstemperatur erhöht hat. Hierbei sind Ladedichten und Anzahl der Tiere entscheidend. Während BROWN et al. (2005) in ihrer Studie über Tiertransport noch zwischen 1 und 5 Stunden Zeitverzögerung bei der Erhöhung der Körpertemperatur registrierten, detektierte das BioHarness 3 die Körpertemperatur ohne grundsätzliche zeitliche Verzögerung. Die Temperaturerhöhung im Rahmen des Tiertransportes wurde auch in der Studie von MARAHRENS (2000) beobachtet, allerdings hängt sie im Wesentlichen von beispielsweise der Besatzdichte und Transportdauer ab. Ein Augenmerk sollte in der vorliegenden Studie noch auf die Interquartilsabstände des langen Transportes gelegt werden, die zwar bei kleiner Stichprobe ($n=5$), trotzdem eng zusammenliegen. Augenscheinlich scheint es so zu sein, dass sich

die Körpertemperatur zur Bewertung der Vitalität eines Rindes bei stundenweiser Betrachtung nicht eignet, da auch eine Ruhe-Temperatur-Messung zu Vergleichszwecken nicht stattgefunden hat und sich zu viele Einflussfaktoren auf das Temperaturgeschehen auswirken.

7. Verhaltensparameter

Körperlage (Posture)

Der Interaktionseffekt H3 (Transportentfernung*4 Abschnitte) verhält sich nicht hypotesenkonform und zeigte sich bezüglich der Körperlage (Posture) signifikant. Der Parameter Körperlage „Posture“ bleibt bei beiden Transportarten über die Abschnitte 1 bis 3, bei sehr geringem Interquartilsabstand, fast auf dem gleichen Niveau. Erst in Abschnitt 4 steigen die Grade der Körperlage aufgrund der Winkelverschiebung im Rahmen der Schlachtung an. Die einzelnen Abschnitte unterscheiden sich, wenn auch nur gering, durch die örtlichen Gegebenheiten. In Abschnitt 1 scheint die Steigung beim kurzen Transport (Weg) höher als beim langen Transport (Weg). Wahrscheinlich beeinflusst die Beschaffenheit der Verladeeinrichtungen im Stall und die Steigung der Rampe des Transportfahrzeuges die Körperlage. Luftfederung und absenkbare Rampen sorgen für einen angemessenen Entladekomfort. In Abschnitt 4 ist der Winkel beim kurzen Transport höher als beim langen Transport. In diesem Abschnitt verändert sich die Winkelangabe in Grad, da nach der Betäubung das Rind zur besseren Entblutung mit dem Kopf nach unten hängt. Ursache für den Winkel-Unterschied zwischen den beiden Transportentfernungen im Abschnitt 4 könnten passive Bewegungen (wie zum Bsp. Drehungen) der Rinder beim Vorschlichten durch das Schlachthofpersonal sein. Der Parameter Körperlage (Posture) ist kein aktiver Vitalparameter im herkömmlichen Sinne, sondern beschreibt passiv die aktuelle Lage in Raum und könnte daher als Signal-Parameter verwendet werden.

Aktivität (Activity)

Der Interaktionseffekt H3 (Transportentfernung*4 Abschnitte) verhält sich nicht hypotesenkonform und zeigte sich signifikant bezüglich der Aktivität „Activity“. Die höhere Aktivität der Gruppe mit kurzer Transportdauer in Abschnitt 1 könnte damit erklärt werden, dass es naturgemäß im Stall für Unruhe sorgt, wenn Tiere verladen werden. Noch dazu wird beim kurzen Transport das Rind einzeln auf den Pferdeanhänger verladen. In den Abschnitten 2 und 3 ist die Aktivität wiederum niedriger, verglichen mit der Gruppe

mit langer Transportentfernung. Dies dreht sich in Abschnitt 4, in welchem die Gruppe mit kurzer Transportentfernung wiederum eine höhere Aktivität aufweist. Während des Transportes (Abschnitt 2) ist die Differenz in der Aktivität der beiden Transportarten erstaunlicherweise relativ gering, wo man doch bei Fahrten auf der Autobahn und Landstraße im Vergleich zur Stadtfahrt Unterschiede erwarten würde. Wahrscheinlich hat das Transportfahrzeug weniger Einfluss auf den Beschleunigungssensor als gedacht. Eine ähnliche Beobachtung wird auch beim Parameter Schritte gemacht. Hier muss ebenfalls berücksichtigt werden, dass sich das Tier nach der Betäubung nicht mehr eigenständig bewegt, sondern passiv die Stationen der Schlachtung durchläuft. Die ermittelten Werte bleiben allerdings deutlich hinter der Bemessungsgrundlage des Parameters Aktivität zurück, da der Beschleunigungssensor dem Gangbild des Menschen angepasst wurde und es wahrscheinlich bei vier Beinen zu Messverschiebungen gekommen ist. Wenn diese Technik im Bereich von Tieren erneut eingesetzt werden sollte, ist es wahrscheinlich sinnvoll einen Faktor zu etablieren, um die Ergebnisse der Aktivität noch exakter darzustellen.

Schritte (Walk steps)

Die für H2 gemessenen Mittelwerte der Schritte „Walk steps“ in den 4 Abschnitten verhalten sich nicht hypothesenkonform und zeigen sich signifikant gegenüber den Abschnitten, da die Anzahl der Schritte fast ausnahmslos zunimmt. In Abschnitt 2 liegen die Schritte beim langen Transport nur unwesentlich höher als beim kurzen Transport. In diesem Fall bewegen sich die Rinder auf dem kurzen Transport mehr als angenommen oder auf dem langen Transport weniger als gedacht, da der Transportschutz die Bewegungsfreiheit einschränkt. In Abschnitt 4 gibt es einen Unterschied zwischen den beiden Transportarten; so legen die Rinder im Rahmen des kurzen Transportes mehr passive Schritte zurück, als die auf dem langen Transport. Dieses Ergebnis ist allerdings unter Vorbehalt zu betrachten, da die Tiere in Abschnitt 2 und 4 passiv bewegt werden und die Geschwindigkeit bei der Schlachtung mit dem Fortschritt der nachfolgenden Stationen korreliert. Grundsätzlich ist der Parameter Schritte von vielen Faktoren abhängig und wahrscheinlich nur bei Kenntnis der Bedingungen vor Ort richtig zu interpretieren.

Stolper-Index

Die Untersuchung der für H2 gemessenen Mittelwerte des Stolper-Index verhalten sich nicht hypothesenkonform und zeigen sich signifikant gegenüber den Abschnitten. Der Parameter Stolper-Index ist ähnlich dem Parameter Körperlage einzuordnen, weil er Veränderungen durch Winkelverschiebungen ausdrückt. Hierbei ist es wichtig, die Neigungen der Stalleinrichtungen und Verladerampen zu berücksichtigen, da es sonst zu Fehlinterpretationen kommen kann. In den Abschnitten 1 bis 3 ist, unabhängig von der Transportentfernung, die Stellung (Körperhaltung der Rinder) normal, da sie etwa 90° beträgt. Auch der Interquartilsabstand in den Abschnitten 1 bis 3 bestätigt dicht zusammenliegende Daten auf relativ gleichem Niveau. Eine Untersuchung der Ausreißer, gerade in Richtung 0° würde hier Sinn machen, da das Niveau aller Boxplots keine Abweichungen erahnen lässt. Erst in Abschnitt 4 steigt der Index an, da das Rind durch die Betäubung eine Lageänderung vollführt und nun zur weiteren Bearbeitung und besseren Entblutung mit dem Kopf nach unten hängt (siehe auch Körperlage „Posture“). Eine kontinuierliche Einzeltier-Überwachung würde in jedem Fall die „Stolperer“ oder Bodenkontakte detektieren, weshalb die Bewertung durch das TGA aufgegriffen wird (Siehe TGA auf Seite 115ff.). Aufgrund der Neuerung von den in dieser Arbeit durchgeführten Messungen, konnten in der bestehenden Literatur leider keine vergleichbaren Ergebnisse gefunden werden. Die Technik und die Darstellung der Bewegungsabläufe anhand von Winkelveränderungen stellen sich als robust dar und sollte bei weiteren Forschungsarbeiten genutzt werden, um die ein Bewegungsschema abzubilden.

8. Temple Grandin Audit / Vitalparameter

Ziel dieser Arbeit war es unter Anderem herauszufinden, ob die Verknüpfung von biophysikalischen Vitalfunktionen und tierschutzbezogenem Monitoring postmortal bewertet werden kann.

Nach der Studie von REYMANN (2016) über die vergleichende Überprüfung des Tierschutzes in Schlachthöfen, wurde zur Bewertung der Praxis ebenfalls das TGA im Vergleich zum QSM herangezogen. Demnach eignet sich das TGA grundsätzlich als eine zeitsparende und zielführende Methode zur Überprüfung des Tierschutzes, wenn von einer Vollkontrolle abgesehen wird (REYMANN, 2016). Aus diesem Grund könnte sich die Kombination von Biosensor und Leitparametern zur Beurteilung des Wohlergehens der Rinder eignen, was im Folgenden erläutert wird.

In Verbindung mit der vorliegenden Studie und dem LP1 (Betäubungsdurchführung) und LP2 (Bewusstlosigkeit auf der Entblutestrecke) liegen alle relevanten Ereignisse im 4. Abschnitt. In der Studie von REYMANN (2016) über die vergleichende Überprüfung des Tierschutzes in Schlachthöfen, stellte sich für die Bewertung der Rinder, die mittels Bolzenschuss betäubt wurden heraus, dass besonders die Leitparameter LP1 (Betäubungsdurchführung), LP2 (Bewusstlosigkeit auf der Entblutestrecke), LP3 (Fallen der Tiere) und LP5 (Einsatz von elektronischen Treibhilfen) ein Beanstandungspotential besitzen können (REYMANN, 2016). Daher sind diese Parameter als besonders wichtig in der Beurteilung einzustufen.

Die LP1 und LP2 können grundsätzlich postmortal durch den grafischen Verlauf der Vitalparameter rekonstruiert werden. Allerdings ist es anhand der vorliegenden Auswertungen aktuell nur eingeschränkt möglich, eine Abgrenzung von regelmäßiger Atmung zu reflektorischer Schnappatmung vorzunehmen. Auch ist eine gesicherte Aussage zur Empfindungslosigkeit auf der Entblutestrecke (LP2) aufgrund der postmortalen Auswertungen nicht sicher festzustellen, da nur die Beobachtungen der Herzfrequenz, Atemfrequenz und des „Bewegungsraders“ (Körperlage, Stolper-Index) nicht die rechtzeitige Entblutung detektiert, um der längeren Blutversorgung des Gehirns bei Rindern durch die Spinal- und Vertebral- Arterien Rechnung zu tragen. In diesen Fällen sollte es eine

Anpassung sowohl im technischen Bereich des Sensors, wie auch im Bereich der Leitparameter geben, wenn weitere Studien in Verbindung mit Rindern geplant werden. So könnte eine Winkelverschiebung auf Tierniveau (4- Füßler) zur genaueren Bewegungsbestimmung und eine Optimierung der Detektionsgeschwindigkeit für solche Bereiche eingeführt werden.

Die eigentlich negativen Abweichungen im Abschnitt 4 sind bei der Bewertung des TGA durch Vitalgraphen positive Abweichungen, die den Hergang der Betäubung und Entblutung aufzeichnen. So würden beispielsweise erneute Aufrichtversuche der Tiere nach mangelhafter Betäubung erkannt werden. Auch Fehler während der Entblutung könnten durch Bewegungen der Tiere nach der Betäubung in Kombination mit den anderen Vitalparametern erkannt werden. Zu diesem Zweck bedarf es allerdings weiterer Studien, um graphische Vitalparameterverläufe besser in den Zusammenhang mit dem Prozessabschnitt zu bringen, da es zu unterscheiden gilt, welche Bewegungen Zeichen für den beginnenden Kontrollverlust des zentralen Nervensystems und welche Bewegungen Anzeichen von wiedererlangtem Bewusstsein sein könnten. In diesem Zusammenhang ist auch die eventuelle Doppelfunktion der EKG-Amplitude zu untersuchen, inwieweit sie tatsächlich positiven Einfluss auf die Betäubungsbewertung hat und als Indikator für negative Abweichungen bei der LP5 (Einsatz von E-Treibern) verwendet werden könnte.

Bei der Schlachtung der in dieser Studie untersuchten Rinder, gab es vor Ort keine tierenschutzrechtlichen Beanstandungen durch das veterinärmedizinische Personal in Abschnitt 3 (Entladung und Zutrieb) und Abschnitt 4 (Betäuben und Entblutung). Tatsächlich sollte es zur Einordnung der Vital-Leitparameter-Kombination in Verbindung mit dem TGA weitere Studien mit höheren Tierzahlen geben, damit auch „worst case“ Szenarien in ihrer vitalen Wechselwirkung grafisch untersucht werden können. Der LP3 (Fallen der Tiere) könnte in Verbindung mit dem Stolper-Index, Körperlage als Signalparameter in die Bewertung einfließen, da es auch eine enge Verbindung zum LP5 (Einsatz von elektronischen Treibhilfen) gibt. Nach der Benutzung der elektronischen Treibhilfe können Rinder reflexartig stolpern oder rutschen. Die EKG-Amplitude als Signalparameter für elektrische Treibhilfen sollte trotzdem vor der Benennung als Signalparameter nochmals eingehend geprüft werden, da es in der vorliegenden Studie keine Möglichkeit

gegeben hat, parameterwirksame Attrappen-Untersuchungen mit der elektronischen Treibhilfe durchzuführen.

Auch sollte bei weiteren Studien in Erwägung gezogen werden, dass die Möglichkeit des GPS Tracking beim Zephyr BioHarness 3 genutzt wird, um beispielsweise ungewollte Tierbewegungen während der Fahrt mit einer Örtlichkeit zu verknüpfen, um potentielle Stressoren zu lokalisieren. Der Stolper-Index könnte bei der Betrachtung des Einzelrindes unter Berücksichtigung gewisser Faktoren, wie z. B. Neigungen der Verloaderampen, als Indikator für die Bewertung des Bewegungsmusters herangezogen werden. Der LP6 (Gewaltanwendung) ist nicht, wie bereits geäußert, Teil dieser Untersuchung, da sich rohe Gewalt nur schwer greifbar darstellen lässt, es sei denn, es folgt eine unmittelbare, durch die Parameter abgedeckte Reaktion des Tieres, die aber in dieser Untersuchung ausgeschlossen werden kann. Weiter ist die Beurteilung der Mittelwerte aller Rinder im Zuge des TGA wahrscheinlich zu ungenau, um präzise Aussagen über die Behandlung der Rinder zu treffen und damit eine Risikoanalyse für den Schlachthof abzubilden. Es muss in jedem Fall eine Einzeltierbetrachtung bleiben, da nur so Schwachstellen lokalisiert werden können und das Tierschutzniveau beurteilt werden kann. Das TGA deckt durch seine tierbezogenen Leitparameter grundsätzlich fast alle tierschutzrelevanten Gesichtspunkte ab; allerdings sind technische und bauliche Mängel, die sich in der Folge auf das Verhalten auswirken könnten, daraus nicht sofort ersichtlich und wahrscheinlich sollten bei zukünftigen Studien die Abdeckungen der Leitparameter durch die Vitalwerte und Bewegungsmuster nochmal verfeinert und angepasst werden. Die Untersuchungen zeigen zwar, dass es möglich ist, eine post mortale Analyse der physiologischen- und Verhaltensparameter durchzuführen, allerdings existieren beispielsweise in Bezug auf die HRV (direkt aus dem Brustgurt) technische Voraussetzungen der Detektion, da die HRV erst ausgegeben wird, wenn störungsfreie 60 Sekunden verstrichen sind. Jedes größere Artefakt führt zu einem Neuanfang der HRV, während das EKG normal weiter aufgezeichnet wird. Abgeleitet durch das EKG und durch Kubios HRV aufbereitet, existiert sehr wohl eine brauchbare HRV.

Der LP 4 Lautäußerung und LP 7 Wasserversorgung sind mit dem Zephyr BioHarness 3 nicht messbar, wurden aber dennoch manuell protokolliert, da sie beispielsweise nur per Videoanalyse objektiv aufgezeichnet werden können.

9. Fleischqualität und Fleischreifung

Die pH_1 -Werte p.m. und die pH_{24} -Werte p.m. der beiden Transportentfernungen unterscheiden sich nur minimal, daher hat die Entfernung des Transportes in der vorliegenden Studie keinen Einfluss auf den pH_1 -Wert und pH_{24} -Wert in Bezug auf die Fleischqualität. Die in dieser Studie ermittelten Ergebnisse werden durch die Studie von HENKE (2003) bestätigt.

In der Studie von HENKE (2003) über den Einfluss von Kurzzeittransporten bei Rindern wurde herausgefunden, dass die reine Transportdauer, die Stoppzeit des LKW auf der Straße oder die Fahrzeugklasse keinen Einfluss auf die Erhöhung oder Senkung des pH_1 und pH_{24} hat. Diese Aussagen stimmen mit der vorliegenden Studie überein, da die Mittelwerte der pH-Werte (pH_1 und pH_{24}) bei beiden Transportarten (kurz und lang) über die Zeit signifikant gesunken sind und damit einen „normalen Verlauf“ besitzen.

Ist während des Transportes ausreichend Einstreu auf dem Boden verteilt, erhöht sich der pH_{24} , während sich besondere Vorkommnisse im Stall oder Zutrieb (Rangkämpfe, Aufspringen) senkend auf den pH_{24} auswirken können (HENKE, 2003). Weiterhin hat sich in der Untersuchung gezeigt, dass sich das Geschlecht auf den pH_{24} auswirken kann und männliche Rinder einen höheren pH_{24} -Wert haben als weibliche Rinder. In der vorliegenden Studie können hierzu keine Angaben gemacht werden, da nur weibliche Rinder untersucht wurden. Außerdem wirkt sich nach HENKE (2003) auch das Haltungssystem auf den pH_{24} aus, weil Tiere aus Anbindehaltung einen höheren pH_{24} haben, als Tiere aus dem Gruppenlaufstall. Da in der vorliegenden Studie nur Tiere aus der Gruppenhaltung untersucht wurden, können auch zur Anbindehaltung in dieser Studie keine Aussagen gemacht werden. Als letzter beeinflussender Faktor ist die Rasse zu nennen, dass nämlich Milchrinder einen höheren pH_{24} haben als Fleischrinder (HENKE, 2003). Bei den Rindern, die für diese Studie untersucht wurden, handelte es sich nur um Fleischrinder. Bei zukünftigen Studien könnte man in diesem Zusammenhang den Ansatz verfolgen, dass weniger die Rasse ausschlaggebend für pH_{24} Veränderungen ist, als die Art des Rindes in Verbindung mit seiner Nutzung Milch vs. Fleisch.

CHACON et al. (2005) stellen jedoch in ihrer Studie über die Auswirkungen des Transportes auf männliche Rinder keine Unterschiede in den pH-Werten fest.

Auch wenn es bei diversen Vitalparametern signifikante Unterschiede über die Abschnitte oder Transportarten gegeben hat, ist eine atypische Veränderung des pH-Wertes bei den untersuchten Tieren nicht nachgewiesen worden. Die Phänotypisierung der Fleischbeschaffenheit ist in dieser Arbeit auf die Messung des pH-Wertes reduziert worden und sollte zur besseren wissenschaftlichen Einbettung bei weiteren Studien in Verbindung mit beispielsweise der Fleischfarbe oder dem Scherwert (Zartheitsmesser) untersucht werden. Farbliche Qualitätsabweichungen oder Kundenreklamationen wurden in der Folge nicht festgestellt.

V. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es wurde in dieser Studie exemplarisch gezeigt, dass eine abschnittsübergreifende Untersuchung des stressbezogenen Verhaltens mittels automatisierter Erfassung von biophysikalischen Vitalfunktionen bei weiblichen Rindern vom Transport bis zur Schlachtung mit postmortaler Bewertung eines tierschutzbezogenen Monitorings methodisch umsetzbar ist.

Das Zephyr BioHarness 3 kann Belastungsreaktionen der Rinder aufzeichnen, die zum Teil außerhalb des physiologischen Kompensationsbereiches der Rinder lagen. Die Anforderungen an die Adaptionsleistungen der Rinder waren über die vier verschiedenen Abschnitte unterschiedlich stark ausgeprägt. Insgesamt erschwert die geringe Stichprobengröße die Aussagekraft aufgrund niedrigerer als wünschenswerter statistischer Power sowie der aus den Ergebnissen abgeleiteten Handlungsempfehlungen.

Für nachfolgende Studien könnte man aus diesem Grund aber trotzdem für die methodische Vorgehensweise die physiologischen Parameter mittlere Herzfrequenz, RR, SDNN und RMSSD empfehlen, da sie bereits von anderen Autoren bei verschiedenen Tierarten verwendet und validiert wurden, zuverlässig messbar sind und Unterschiede aufgezeigt haben, die nicht hypothesenkonform waren und daher weiterer Untersuchungen bedürfen.

Im Rahmen des tierschutzbezogenen Monitorings können überdies die Parameter Atemfrequenz, Herzfrequenz, Körperlage und Stolper-Index für diese Art der Anwendung empfohlen werden. Bei der Bewertung der Herzparameter wie z.B. der RMSSD oder pNN50 im Rahmen der Stressuntersuchung ist außerdem zu bewerten, ob Ruhemessungen durchgeführt wurden, um den Einfluss der respiratorischen Sinusarrhythmie auszuschließen.

Die Feststellung der Körpertemperatur ist zudem ein zu schwerfälliger Parameter für diese Art von Studie, da er kaum etwas über kurzfristige Ereignisse und Änderungen in folgedessen aussagen kann. Für eine längere Untersuchung, z.B. im Warte-Stall in Verbindung mit klimatischen Faktoren, könnte die Auswertung jedoch hilfreich sein, da die Temperaturmessung bei Rindern zum frühzeitigen Erkennen von Krankheiten genutzt

werden kann, noch bevor die Rinder visuell sichtbare Symptome ausbilden. Letztlich wären ergänzende Verhaltensaufzeichnungen durch Videoüberwachung zur Festigung der Ergebnisse und für die Robustheit der erhobenen Messwerte in Verbindung mit anderen Arten der Stressmessung, z. B. die zusätzliche Messung von Cortisol und Durchführung von Stress-/Verhaltenstests mit Hilfe des Zephyr BioHarness 3, bei weiteren Studien interessant. In diesem Zusammenhang erlaubt das Zephyr BioHarness 3 auch eine „live“-Übertragung der Daten via Bluetooth, was allerdings bei der vorliegenden Arbeit nicht vorgesehen war, bei nachfolgenden Projekten aber durchaus in Betracht gezogen werden sollte, insbesondere i.V.m. Beobachtungen durch das Versuchspersonal.

In Verbindung mit dem Ziel der Umsetzbarkeit der Detektion von Vitalparametern bei Rindern erfolgte die postmortale Durchführung eines TGA (Temple Grandin Audit). Das Tierschutzniveau kann mit Hilfe des TGA in einem Betrieb grundsätzlich festgestellt werden, allerdings fokussiert es sich im Vergleich zu anderen Qualitätsmanagementsystemen auf tierbezogene Belange. In der Folge werden nicht akute bauliche und technische Mängel hierbei vernachlässigt.

Die routinemäßige Kontrolle der Vital-Leitparameter-Kombinationen anhand der Daten aus dem Zephyr BioHarness 3 ist eine zeitsparende und zielführende Methode, um Kriterien des Tierschutzes sowie das Wohlbefinden der Rinder zu prüfen und vor allen Dingen nachvollziehbar zu dokumentieren, um langfristig die Transport- und Schlachtbedingungen weiter zu optimieren. Im Bereich der postmortalen Untersuchungen sind in der vorliegenden Studie einzig pH_1 und pH_{24} -Wert des Longissimus thoracis et lumborum gemessen worden, um bei auftretenden Abweichungen im Bereich der Vitalparameter oder der Vital-Leitparameter-Kombinationen, die phänotypischen Auswirkungen auf das Lebensmittel Fleisch nachzuweisen.

Es gab in diesem Zusammenhang keine Anhaltspunkte zur qualitativen Beanstandung des Rindfleisches der untersuchten Tiere. Somit ist die eingangs erwähnte Zielstellung erreicht worden, dass die Messungen und das Monitoring verschiedener Vitalparameter dazu benutzt werden können, Prozesse hinreichend gut abzubilden, um Fleischqualität zu dokumentieren.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, ob eine automatisierte Erfassung von biophysikalischen Vitalfunktionen durch das Zephyr BioHarness 3 bei weiblichen Rindern vom Transport bis zur Schlachtung unter dem Aspekt der Messmethodik und Anwendbarkeit überhaupt durchführbar ist und inwieweit tierschutzbezogenes Monitoring postmortal bewertet werden kann.

Hierzu wurden im Zeitraum von März 2019 bis Mai 2020, von 15 weiblichen Rinder in 4 Abschnitten- (1-Beladung, 2-Transport, 3-Entladung/Zutrieb und 4-Betäubung/Entblutung) auf dem Weg zum und im Schlachthof Vitalparameter (physiologische- und Verhaltensparameter) mit dem BioHarness 3 (Zephyr) erhoben.

Untersucht wurden $n = 10$ Rinder für Kurzzeittransporte (< 60 min) und $n = 5$ Rinder für längere Transporte (> 60 min und < 240 min). Eine Fleischqualitätsanalyse (postmortale pH-Werte) sowie ein postmortales Temple Grandin Audit (TGA) wurden ebenfalls anhand der Untersuchungsergebnisse durchgeführt.

Für die statistischen Untersuchungen wurden verschiedene Parameter über die unterschiedliche Transportentfernung, Prozess-Abschnitte und Interaktionen in Beziehung gesetzt.

Die Auswertungen zeigen, dass die Belastungsreaktionen der Rinder mit unterschiedlicher Transportentfernung und über die verschiedenen Abschnitte, zu Schwankungen der physiologischen und Verhaltensparameter im Rahmen der Adaptionleistung der Rinder führten. Im letzten Abschnitt (Betäubung/Entblutung) rangierten die Reaktionen aufgrund der klinisch kritischen Situation zum Teil außerhalb des physiologischen Kompensationsbereiches der Rinder.

Durch die Erstellung von postmortalen Vital-Leitparameter-Kombinationen ist es gelungen, anhand von Vitalitätsgraphen, eine Bewertung der Handhabung von Rindern bei unterschiedlichen Prozessabschnitten vorzunehmen, da ca. 92% der Bewertungen durch das TGA als positiv detektiert wurden und vergleichsweise nur ca. 8% als negativ. In diesem Zusammenhang müssen allerdings weitere Forschungen bewertungsrelevante Schlüsselparameter in ihrer Verwendung verifizieren.

Im Bereich der postmortal phänotypischen Untersuchung sind in der vorliegenden Studie die der **pH₁ und pH₂₄-Wert** des Longissimus thoracis et lumborum gemessen worden, wobei keine atypischen Veränderungen bei den untersuchten Tieren nachgewiesen worden sind.

VII. ABSTRACT

The aim of this work was to find out whether the automatic recording of biophysical vital functions using the Zephyr BioHarness 3 is feasible in female cattle from transport to slaughter and to what extent animal welfare-related monitoring can be evaluated post-mortem.

For this purpose, vital (physiological and behavioral) parameters of 15 female cattle were recorded using the BioHarness 3 (Zephyr) in 4 sections (1-Loading, 2-Transport, 3-Discharging/driving and 4-Stunning/bleeding) on the way to and at the slaughterhouse between March 2019 and May 2020. N = 10 cattle were examined for short-term transport distances (< 60 min) and n = 5 cattle for longer transport distances (> 60 min and < 240 min). A meat quality analysis (postmortem pH values) and a postmortem Temple Grandin Audit (TGA) were also performed.

For the statistical investigations, various parameters were related to the different transport distances, process sections and interactions.

The evaluations show that the stress reactions of the cattle at different transport distances and over the various stages led to fluctuations in the physiological and behavioral parameters as part of the cattle's adaptive performance. In the last stage (stunning/bleeding), the reactions were partly outside the physiological compensation range of the cattle due to the clinically critical situation.

By creating post-mortem vital sign combinations, it was possible to evaluate the handling of cattle at different stages of the process using vitality graphs, which detected approx. 92% of the evaluations by the TGA as positive and comparatively only approx. 8% as negative. In this context, however, further research is needed to verify the use of key parameters relevant to evaluation.

In the area of post-mortem phenotypic examination, the pH₁ and pH₂₄₋ values of the longissimus thoracis et lumborum were measured in the present study, whereby no atypical changes were detected in the animals examined.

ANHÄNGE

Verzeichnis der Anhänge

ANHANG 1: GPOWER VORABFRAGE FÜR DIE ABSCHÄTZUNG DER STATISTISCHEN POWER	156
ANHANG 2: KREUZTABELLE DER VITAL- UND LEITPARAMETER-KOMBINATIONEN ..	157
ANHANG 3: FORMBLATT DER LEITPARAMETER VON DER TEMPLE GRANDIN AUDIT (TGA) (GRANDIN, 2010A)	159
ANHANG 3: ZEPHYR BIOHARNESS 3 AM TIER	160
ANHANG 4: ÜBERSICHT DER HERZFREQUENZPARAMETER IN KUBIOS HRV PREMIUM AM BEISPIEL EINES RINDES	161
ANHANG 5: ÜBERSICHT DER PHYSIOLOGISCHEN UND VERHALTENSPARAMETER EINES EINZELTIERES	166

Anhang 1: GPower Vorabfrage für die Abschätzung der statistischen Power

F tests - ANOVA: Fixed effects, special, main effects and interactions

Analysis: A priori: Compute required sample size

Input: Effect size f = 0.25
 α err prob = 0.05
Power ($1-\beta$ err prob) = 0.8
Numerator df = 10
Number of groups = 2

Output: Noncentrality parameter λ = 16.8125000
Critical F = 1.8662658
Denominator df = 267
Total sample size = 269
Actual power = 0.8003148

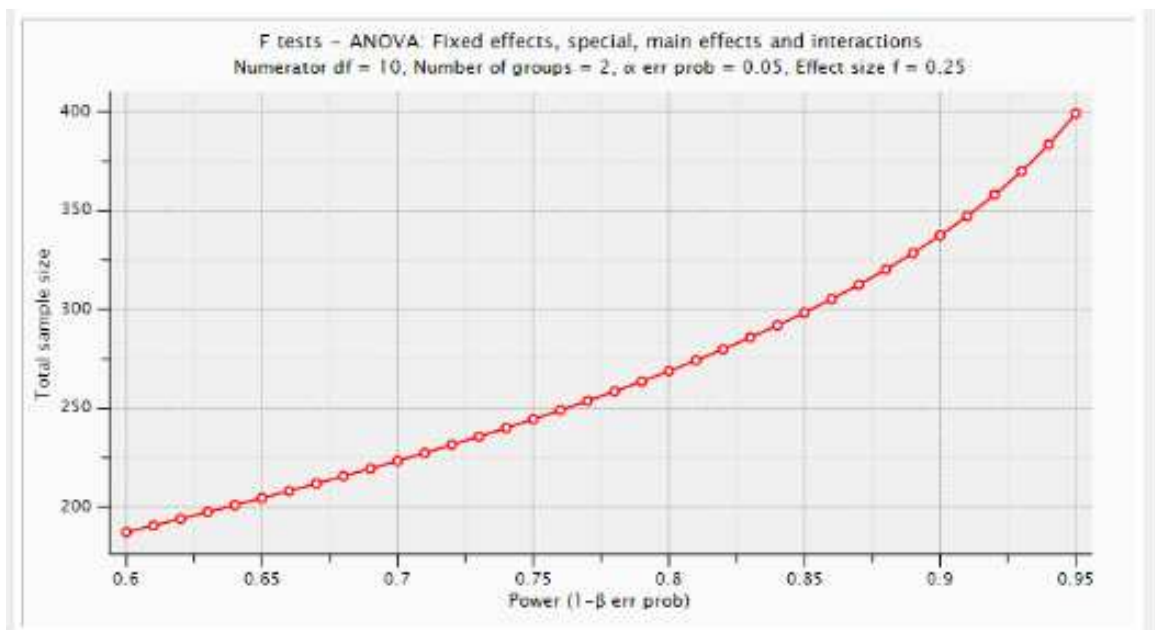


Abbildung 38: Stichprobenabschätzung anhand des Beta-Fehlers

Anhang 2: Kreuztabelle der Vital- und Leitparameter-Kombinationen

Tabelle 28: Kreuztabelle der Vital- und Leitparameter-Kombinationen aufgeteilt in die Abschnitte 1-4.

	Abschnitt 1		Abschnitt 2		Abschnitt 3		Abschnitt 4		
	keine Abw.	neg. Abw.	keine Abw.	neg. Abw.	keine Abw.	neg. Abw.	pos. Abw.	keine Abw.	neg. Abw.
Herzfrequenz									
LP1							15		
LP2							15		
LP3	13	2	13	2	10	5			15
LP4	15		15		15			15	
LP5	15				15				1
LP7	15		15		15			15	
Summe	58	2	43	2	55	5	30	30	16
in %	96,67%	3,33%	95,56%	4,44%	91,67%	8,33%	39,47%	39,47%	21,05%
HRV									
LP3			7						
LP4	15		15		15			15	
LP7	15		15		15			15	
Summe	30	0	37	0	30	0	0	30	0
in %	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%
Atemfrequenz									
LP2							1		
LP3	13	2	15		15			15	
LP4	15		15		15			15	
LP5	12	3	15		15			15	
LP7	15		15		15			15	
Summe	55	5	60	0	60	0	1	60	0
in %	91,67%	8,33%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	1,64%	98,36%	0,00%
Stolper-Index									
LP1							15		
LP2							15		
LP3	10	5	14	1	12	3			15
LP4	15		15		15			15	
LP5	1	14			15				
LP7	15		15		15			15	
Summe	41	19	44	1	57	3	30	30	15
in %	68,33%	31,67%	97,78%	2,22%	95,00%	5,00%	40,00%	40,00%	20,00%

	Abschnitt 1		Abschnitt 2		Abschnitt 3		Abschnitt 4		
	keine Abw.	neg. Abw.	keine Abw.	neg. Abw.	keine Abw.	neg. Abw.	pos. Abw.	keine Abw.	neg. Abw.
EKG Amplitude									
LP1							15		
LP2							15		
LP3	5	10	15		13	2			15
LP4	15		15		15			15	
LP5	3	12			11	1		3	1
LP7	15		15		15			15	
Summe	38	22	45	0	54	3	30	33	16
in %	63,33%	36,67%	100,00%	0,00%	94,74%	5,26%	37,97%	41,77%	20,25%
Körperlage									
LP1							15		
LP2							15		
LP3	15		15		15			15	
LP4	15		15		15			15	
LP5	15		15		15		15		
LP7	15		15		15			15	
Summe	60	0	60	0	60	0	45	45	0
in %	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	50,00%	50,00%	0,00%
Gesamt	282	48	289	3	316	11	136	228	47
in %	85,45%	14,55%	98,97%	1,03%	96,64%	3,36%	33,09%	55,47%	11,44%

**Anhang 3: Formblatt der Leitparameter von der Temple Grandin Audit (TGA)
(GRANDIN, 2010a)**

CATTLE AND CALVES SLAUGHTER AUDIT FORM

Date: _____ Time: _____
 Plant: _____ Auditor: _____
 Weather: _____ Line Speed: _____
 Stunner Type: _____ Operator: _____
 Plant Contact Name: _____ Phone: _____
 Email: _____ Establishment No.: _____

CORE CRITERIA 1: EFFECTIVE STUNNING — Conventional Only

Score 100 cattle in plants with line speeds greater than 100 cattle per hour. Fifty cattle should be audited in slower plants processing 50 to 99 head of cattle or calves per hour. In plants that process less than 50 per hour, score one hour of production. Ninety-six percent accuracy is required for a passing score. If audit is conducted in a religious slaughter facility, skip to Core Criteria 2. A point is subtracted for every animal that requires a second stun.

It can be helpful to note observations about missed stuns using the following guide:

- X = stunned correctly
- G = stunning failed due to apparent lack of maintenance
- A = missed stun due to poor aim

Animal Number:

1 _____	11 _____	21 _____	31 _____	41 _____	51 _____	61 _____	71 _____	81 _____	91 _____
2 _____	12 _____	22 _____	32 _____	42 _____	52 _____	62 _____	72 _____	82 _____	92 _____
3 _____	13 _____	23 _____	33 _____	43 _____	53 _____	63 _____	73 _____	83 _____	93 _____
4 _____	14 _____	24 _____	34 _____	44 _____	54 _____	64 _____	74 _____	84 _____	94 _____
5 _____	15 _____	25 _____	35 _____	45 _____	55 _____	65 _____	75 _____	85 _____	95 _____
6 _____	16 _____	26 _____	36 _____	46 _____	56 _____	66 _____	76 _____	86 _____	96 _____
7 _____	17 _____	27 _____	37 _____	47 _____	57 _____	67 _____	77 _____	87 _____	97 _____
8 _____	18 _____	28 _____	38 _____	48 _____	58 _____	68 _____	78 _____	88 _____	98 _____
9 _____	19 _____	29 _____	39 _____	49 _____	59 _____	69 _____	79 _____	89 _____	99 _____
10 _____	20 _____	30 _____	40 _____	50 _____	60 _____	70 _____	80 _____	90 _____	100 _____

Stun Efficacy Percent _____

Anhang 4: Zephyr BioHarness 3 am Tier



Abbildung 39: Zwei Rinder mit Zephyr BioHarness 3 im Zutrieb zur Betäubungsfalle

Bearbeitung/Anpassung an einen Logiergurt:

Der im Lieferumfang enthaltene elastische Gurt des BioHarness 3, zur Messung am Menschen musste aufgrund seiner Verwendung am Rind umgebaut werden. Das Biomodul wurde zusammen mit den Kontaktpads in einen modifizierten Longiergurt aus dem Reitsport eingepasst. Die verstellbaren Verschlüsse wurden durch Metallschnappverschlüsse ersetzt, die mit Gummizügen am Gurt befestigt wurden. Um Rindern mit unterschiedlichen Konditionierungen den Gurt anlegen zu können, gab es zwei Gurtsysteme unterschiedlicher Länge.

Bereinigte Gurtlänge Sensormodul 1 mit maximaler Straffung **205 cm**

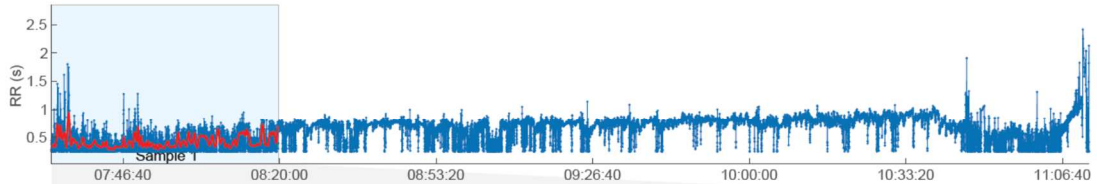
Bereinigte Gurtlänge Sensormodul 2 mit maximaler Straffung **230 cm**

Um den Widerrist der Rinder vor Scheuerstellen und Verletzungen durch den Verschluss zu bewahren, bestand die Innenseite des Messgurtes aus Kunstfell, was sich aufgrund seiner Struktur und Wasserhaltevermögen sehr positiv auf die Leitfähigkeit ausgewirkt hat.

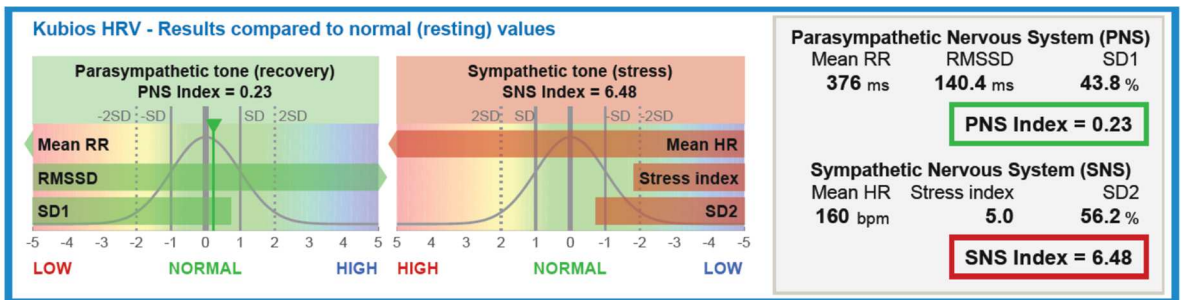
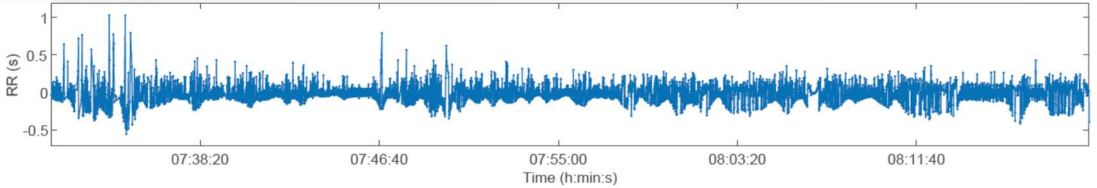
Anhang 5: Übersicht der Herzfrequenzparameter in Kubios HRV Premium am Beispiel eines Rindes

Measurement Info			Results for Sample 1/4		
Date:	03/09/19	Trend removal:	Smoothn priors	Sample start:	07:31:25
Start time:	07:31:18	Artefact corr.:	Automatic correction	Sample length:	00:48:23
Duration:	03:41:03	Analysis samples:	4	Artifacts:	1.51 %

RR Time Series



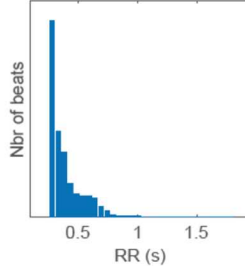
Selected Detrended RR Series



Time-Domain Results

Variable	Units	Value
Mean RR*	(ms)	376
Mean HR*	(bpm)	160
Min HR	(bpm)	61
Max HR	(bpm)	234
SDNN	(ms)	114.4
RMSSD	(ms)	140.4
NN50	(beats)	4996
pNN50	(%)	66.37
RR triangular index		21.95
TINN	(ms)	1086.0
Stress Index (SI)		5.0

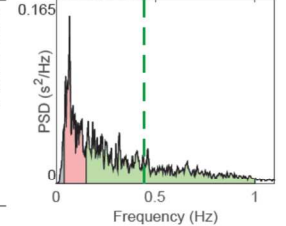
RR Distribution



Frequency-Domain Results (FFT spectrum)

Variable	Units	VLF	LF	HF
Frequency band (Hz)		0.00-0.04	0.04-0.15	0.15-1.00
Peak frequency (Hz)		0.037	0.067	0.160
Power	(ms ²)	607	6315	12940
Power	(log)	6.409	8.751	9.468
Power	(%)	3.06	31.78	65.12
Power	(n.u.)		32.78	67.17
Total power	(ms ²)	19871		
Total Power	(log)	9.897		
LF/HF ratio		0.488		
EDR	(Hz)	0.44		

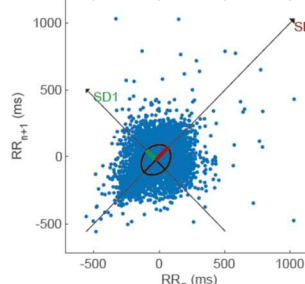
RR Spectrum



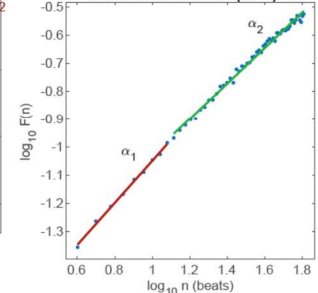
Nonlinear Results

Variable	Units	Value
Poincare Plot		
SD1	(ms)	99.3
SD2	(ms)	127.7
SD2/SD1		1.286
Approximate Entropy (ApEn)		1.290
Sample Entropy (SampEn)		1.141
Detrended Fluctuation Analysis (DFA)		
Short-term fluctuations, α_1		0.746
Long-term fluctuations, α_2		0.633
Correlation Dimension (D2)		2.823
Recurrence Plot Analysis (RPA)	(beats)	
Mean line length (Lmean)	(beats)	13.46
Max line length (Lmax)	(%)	155
Recurrence rate (REC)	(%)	30.34
Determinism (DET)		97.71
Shannon Entropy (ShanEn)		3.325
Multi-Scale Entropy (MSE)		0.704 - 1.141

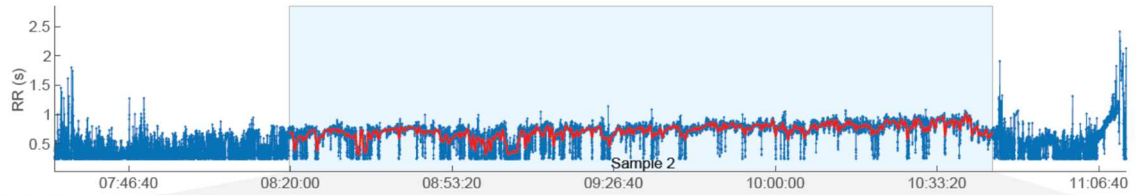
Poincare Plot



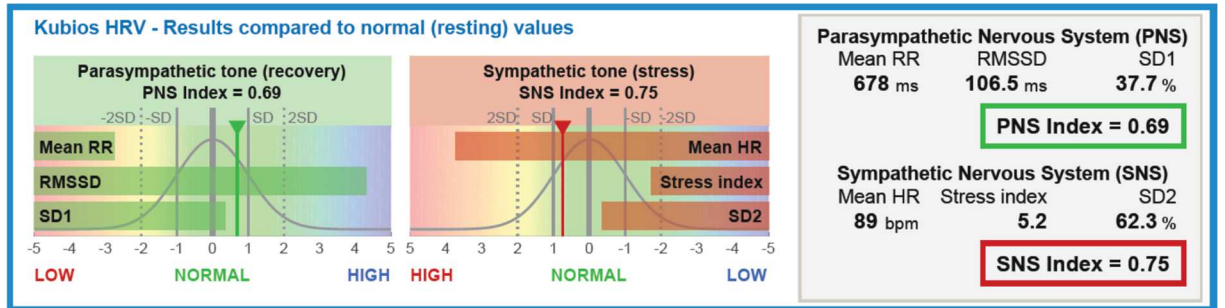
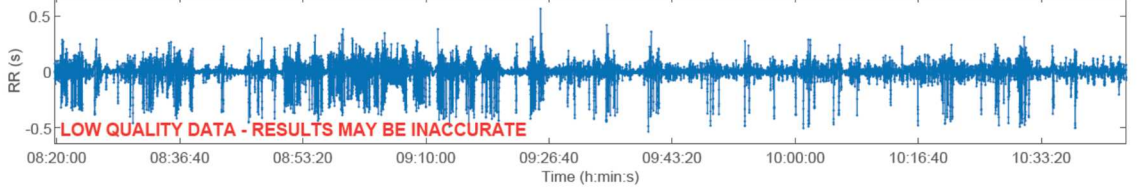
Detrended fluctuations (DFA)



RR Time Series

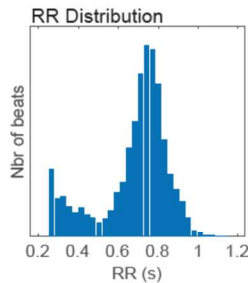


Selected Detrended RR Series



Time-Domain Results

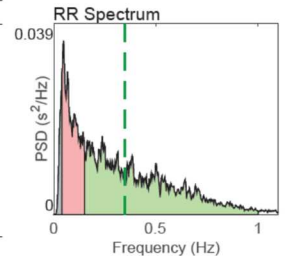
Variable	Units	Value
Mean RR*	(ms)	678
Mean HR*	(bpm)	89
Min HR	(bpm)	59
Max HR	(bpm)	223
SDNN	(ms)	102.7
RMSSD	(ms)	106.5
NN50	(beats)	5016
pNN50	(%)	38.60
RR triangular index		10.64
TINN	(ms)	750.0
Stress Index (SI)		5.2



Frequency-Domain Results (FFT spectrum)

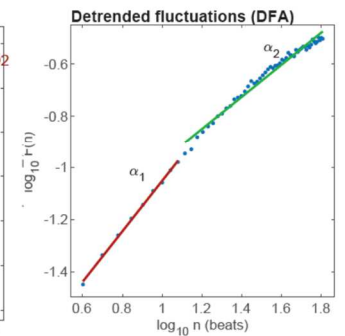
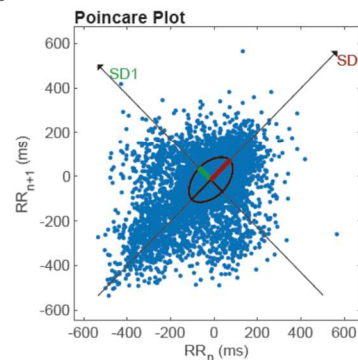
Variable	Units	VLF	LF	HF
Frequency band (Hz)		0.00-0.04	0.04-0.15	0.15-1.00
Peak frequency (Hz)		0.040	0.047	0.237
Power (ms ²)		375	2254	5078
Power (log)		5.927	7.720	8.533
Power (%)		4.86	29.24	65.88
Power (n.u.)			30.74	69.25

Total power	(ms ²)	7708		
Total Power	(log)	8.950		
LF/HF ratio		0.444		
EDR	(Hz)	0.35		



Nonlinear Results

Variable	Units	Value
Poincare Plot		
SD1	(ms)	75.3
SD2	(ms)	124.2
SD2/SD1		1.650
Approximate Entropy (ApEn)		1.037
Sample Entropy (SampEn)		0.704
Detrended Fluctuation Analysis (DFA)		
Short-term fluctuations, α_1		0.969
Long-term fluctuations, α_2		0.618
Correlation Dimension (D2)		2.480
Recurrence Plot Analysis (RPA)		
Mean line length (Lmean)	(beats)	26.77
Max line length (Lmax)	(%)	265
Recurrence rate (REC)	(%)	47.67
Determinism (DET)		99.13
Shannon Entropy (ShanEn)		3.770
Multi-Scale Entropy (MSE)		0.578 - 0.737



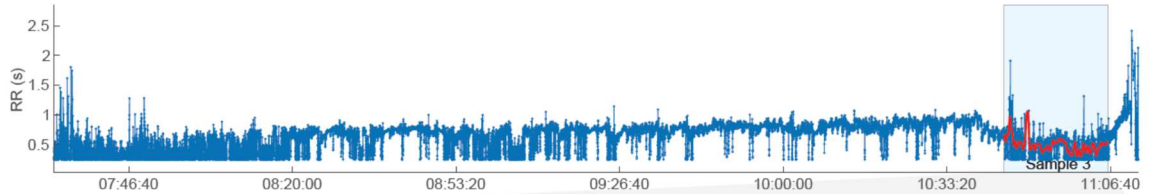
Measurement Info

Date: 03/09/19 Trend removal: Smoothn priors
 Start time: 07:31:18 Artefact corr.: Automatic correction
 Duration: 03:41:03 Analysis samples: 4

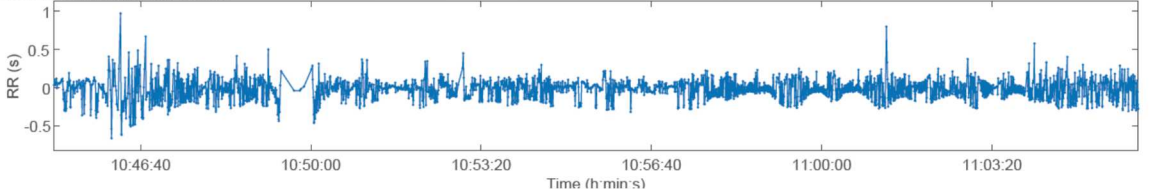
Results for Sample 3/4

Sample start: 10:44:58
 Sample length: 00:21:14
 Artifacts: 1.80 %

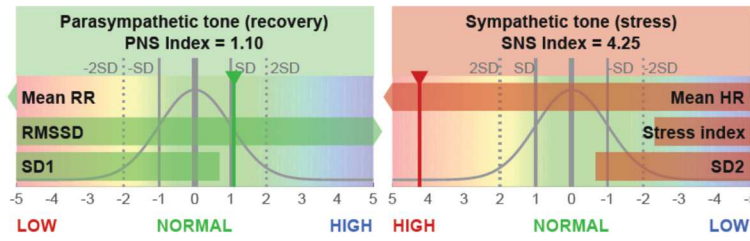
RR Time Series



Selected Detrended RR Series



Kubios HRV - Results compared to normal (resting) values

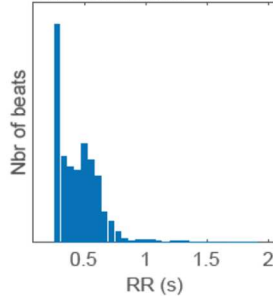


Parasympathetic Nervous System (PNS)		
Mean RR	RMSSD	SD1
438 ms	156.8 ms	42.8 %
PNS Index = 1.10		
Sympathetic Nervous System (SNS)		
Mean HR	Stress index	SD2
137 bpm	3.6	57.2 %
SNS Index = 4.25		

Time-Domain Results

Variable	Units	Value
Mean RR*	(ms)	438
Mean HR*	(bpm)	137
Min HR	(bpm)	59
Max HR	(bpm)	240
SDNN	(ms)	130.7
RMSSD	(ms)	156.8
NN50	(beats)	1793
pNN50	(%)	63.20
RR triangular index		28.67
TINN	(ms)	1142.0
Stress Index (SI)		3.6

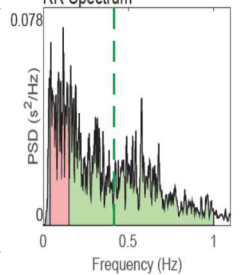
RR Distribution



Frequency-Domain Results (FFT spectrum)

Variable	Units	VLF	LF	HF
Frequency band	(Hz)	0.00-0.04	0.04-0.15	0.15-1.00
Peak frequency	(Hz)	0.033	0.117	0.160
Power	(ms ²)	664	4464	13099
Power	(log)	6.498	8.404	9.480
Power	(%)	3.64	24.48	71.84
Power	(n.u.)		25.40	74.55
Total power		(ms ²)	18235	
Total Power		(log)	9.811	
LF/HF ratio			0.341	
EDR		(Hz)	0.42	

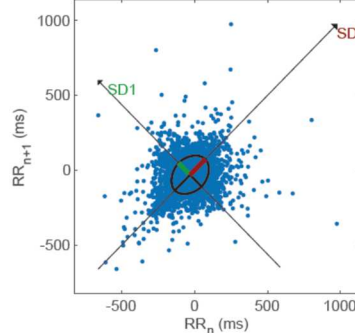
RR Spectrum



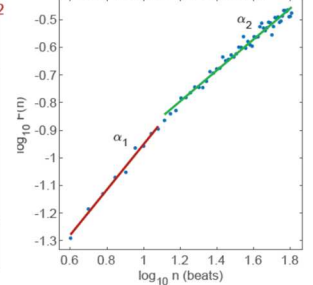
Nonlinear Results

Variable	Units	Value
Poincare Plot		
SD1	(ms)	110.9
SD2	(ms)	147.9
SD2/SD1		1.334
Approximate Entropy (ApEn)		1.347
Sample Entropy (SampEn)		1.193
Detrended Fluctuation Analysis (DFA)		
Short-term fluctuations, α_1		0.821
Long-term fluctuations, α_2		0.561
Correlation Dimension (D2)		3.187
Recurrence Plot Analysis (RPA)		
Mean line length (Lmean)	(beats)	12.07
Max line length (Lmax)	(%)	132
Recurrence rate (REC)	(%)	29.02
Determinism (DET)		97.68
Shannon Entropy (ShanEn)		3.266
Multi-Scale Entropy (MSE)		0.913 - 1.241

Poincare Plot

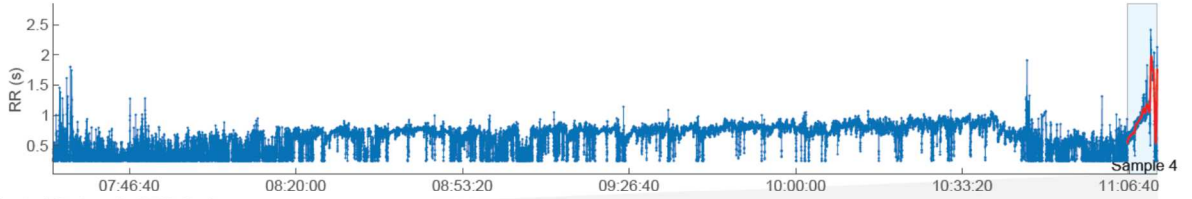


Detrended fluctuations (DFA)

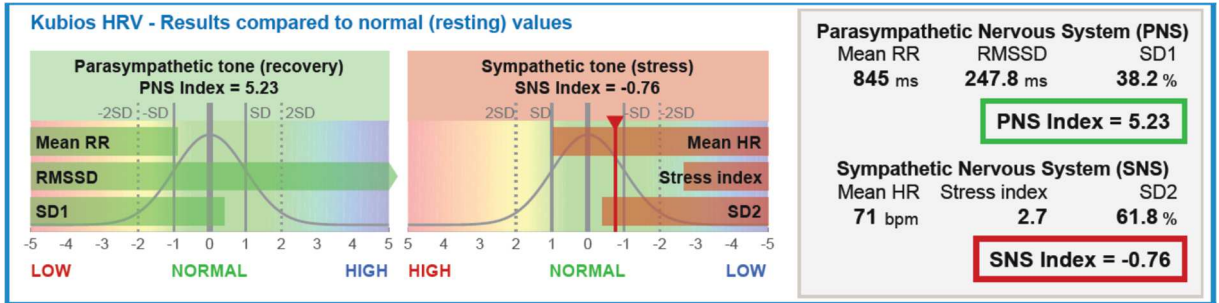
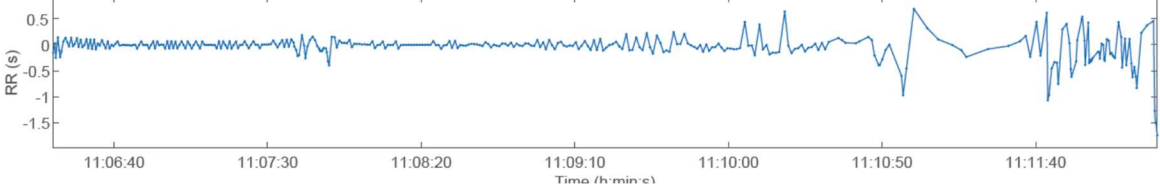


Measurement Info			Results for Sample 4/4		
Date:	03/09/19	Trend removal:	Smoothn priors	Sample start:	11:06:20
Start time:	07:31:18	Artefact corr.:	Automatic correction	Sample length:	00:06:00
Duration:	03:41:03	Analysis samples:	4	Artifacts:	6.87 %

RR Time Series



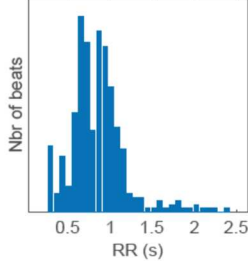
Selected Detrended RR Series



Time-Domain Results

Variable	Units	Value
Mean RR*	(ms)	845
Mean HR*	(bpm)	71
Min HR	(bpm)	32
Max HR	(bpm)	240
SDNN	(ms)	243.1
RMSSD	(ms)	247.8
NN50	(beats)	270
pNN50	(%)	68.88
RR triangular index		10.08
TINN	(ms)	1654.0
Stress Index (SI)		2.7

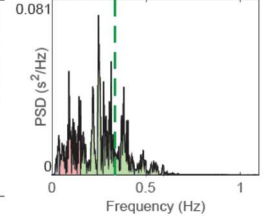
RR Distribution



Frequency-Domain Results (FFT spectrum)

Variable	Units	VLF	LF	HF
Frequency band (Hz)		0.00-0.04	0.04-0.15	0.15-1.00
Peak frequency (Hz)		0.037	0.090	0.247
Power (ms ²)		211	1448	4657
Power (log)		5.352	7.278	8.446
Power (%)		3.34	22.93	73.74
Power (n.u.)			23.72	76.28
Total power (ms ²)		6316		
Total Power (log)		8.751		
LF/HF ratio		0.311		
EDR	(Hz)	0.33		

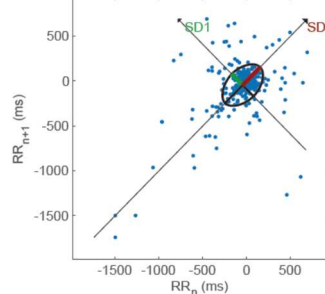
RR Spectrum



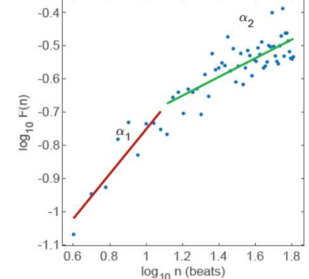
Nonlinear Results

Variable	Units	Value
Poincare Plot		
SD1	(ms)	175.5
SD2	(ms)	283.4
SD2/SD1		1.615
Approximate Entropy (ApEn)		0.826
Sample Entropy (SampEn)		0.758
Detrended Fluctuation Analysis (DFA)		
Short-term fluctuations, α_1		0.675
Long-term fluctuations, α_2		0.282
Correlation Dimension (D2)		3.795
Recurrence Plot Analysis (RPA)		
Mean line length (Lmean)	(beats)	39.78
Max line length (Lmax)	(%)	272
Recurrence rate (REC)	(%)	67.42
Determinism (DET)		99.48
Shannon Entropy (ShanEn)		3.793
Multi-Scale Entropy (MSE)		0.049 - 0.758

Poincare Plot

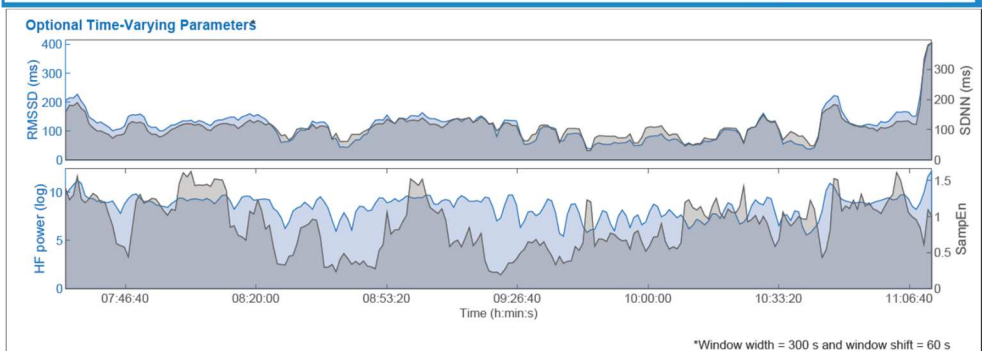
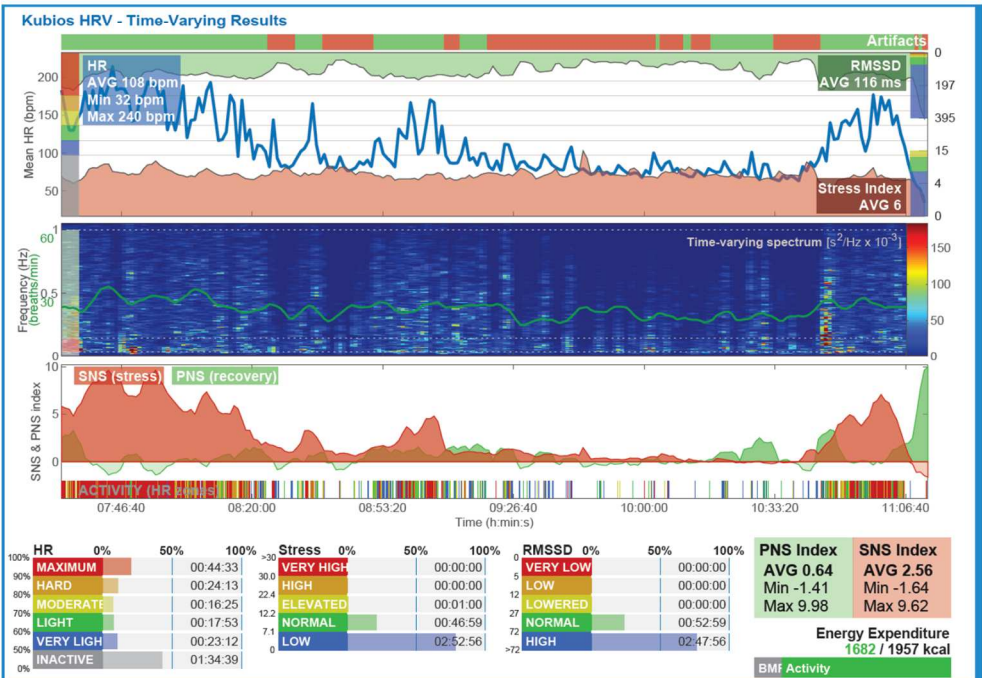
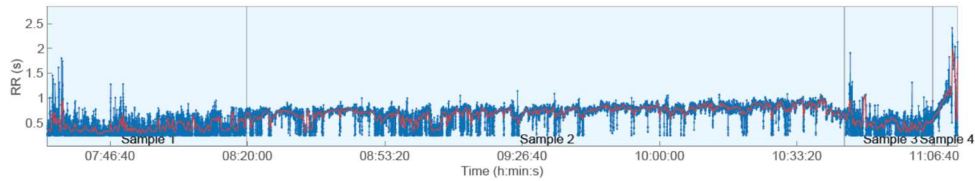


Detrended fluctuations (DFA)



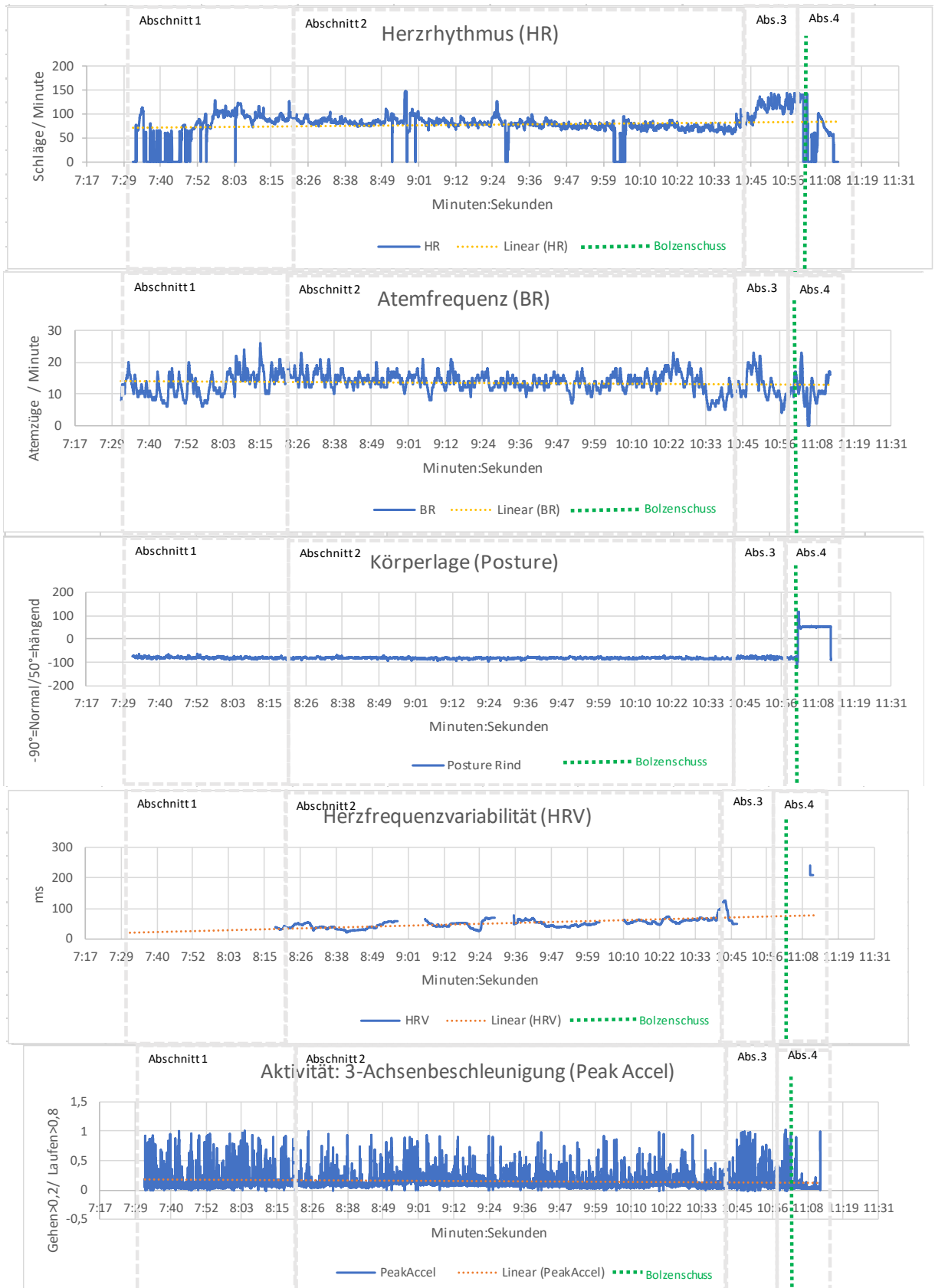
Measurement Info			Results for the whole measurement		
Date:	03/09/19	Trend removal:	Smoothn priors	Sample start:	07:31:25
Start time:	07:31:18	Artefact corr.:	Automatic correction	Sample length:	03:40:55
Duration:	03:41:03	Analysis samples:	4	Artifacts:	5.41 %

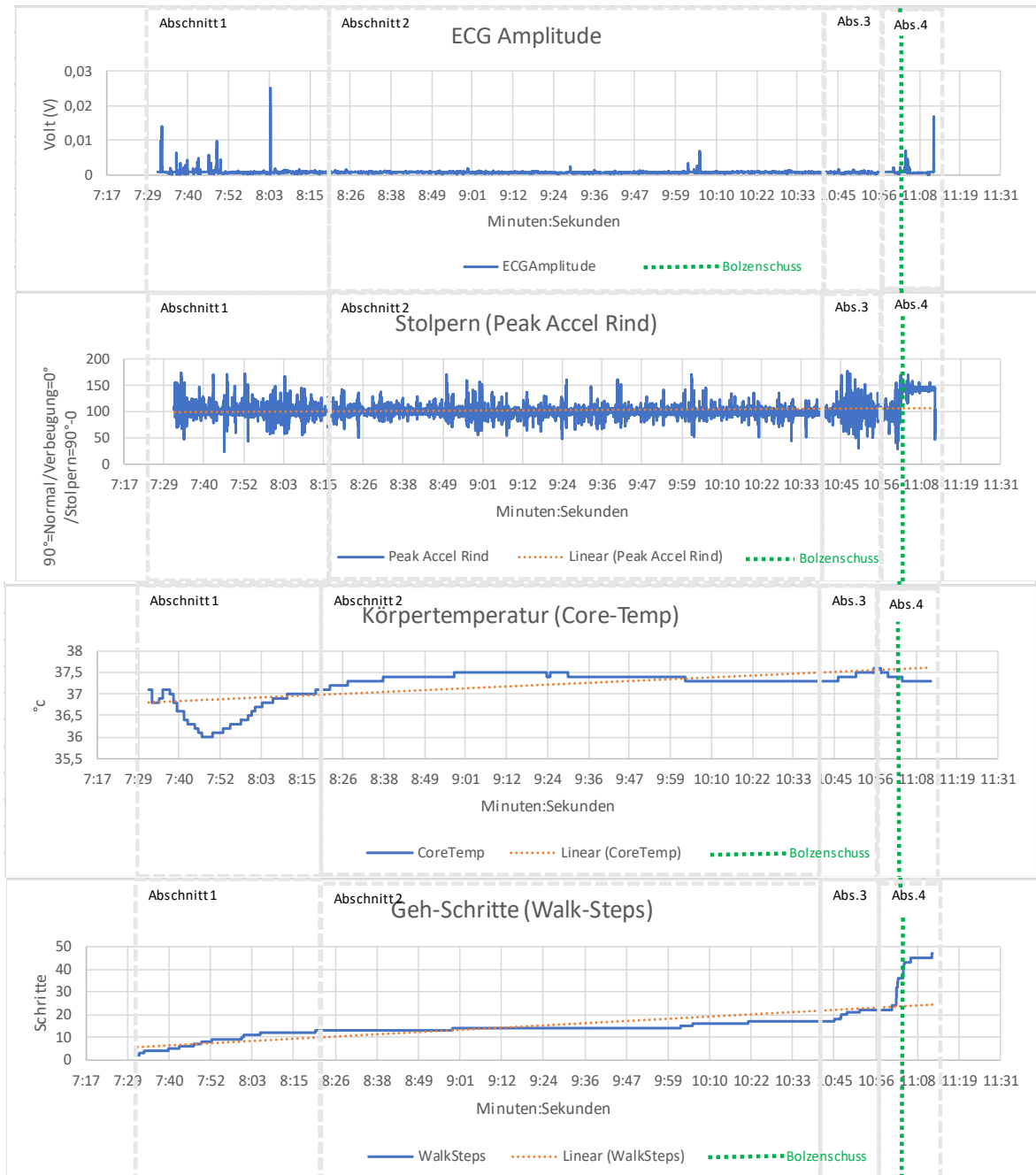
RR Time Series



Herzratenvariabilitäts-Analyse mit der Software Kubios HRV Premium für: Sample 1 (Verladung), Sample 2 (Transport), Sample 3 (Entladung/Zutrieb), Sample 4 (Betäubung/Entblutung) und Komplette Lieferkette von der Verladung bis zur Entblutung (Abschnitte 1-4) detailliert in Zeitbereich, Frequenzbereich, nichtlineare und zeitveränderliche Ergebnisse (Kubios HRV Premium))

Anhang 6: Übersicht der physiologischen und Verhaltensparameter eines Einzeltieres





Physiologische und Verhaltensparameter aufgeteilt in die vier Abschnitte: 1- Verladung, 2- Transport, 3- Entladung/ Zutrieb und 4- Betäubung/ Entblutung. Die grüne Linie stellt den Zeitpunkt der Betäubung dar. Diese Darstellung beruht auf Rohdaten und ist nicht Artefakt bereinigt.

LITERATURVERZEICHNIS

- AICHINGER, C. (2003). *Die Implementierung der Elektrobetäubung im zugelassenen Schlachtbetrieb beim Rind*. Dissertation med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.
- ANDREASSI, J. (1980). Heart activity and behavior. In J. ANDREASSI, *Psychophysiology: Human Behavior and Physiological Response* (S. 227-261). Oxford University Press, Oxford, UK.
- ASCHWANDEN, J., GYGAX, L., WECHSLER, B., & KEIL, N. (2008). *Social distances of goats at the feeding rack*. Applied Animal Behaviour Science 114, 116–131.
- AUERNHAMMER, R. (1995). *Untersuchung über die Eignung verschiedener Körperstellen zur automatisierten Messung der Körpertemperatur beim Rind*. Dissertation, Technische Universität München (LAN Landbauwissenschaft), Weihenstephan, Deutschland.
- AUGUSTINI, C., & FISCHER, K. (1979). Untersuchung zum Problem des dunklen, leimigen Rindfleisches (dark cutting beef). 1.Mitteilung: Erscheinungsformen und Vorkommen. *Fleischwirtschaft* 59 (12), 1871-1873.
- AUGUSTINI, C., FISCHER, K., & RISTIC, M. (1981). *Bedeutung einzelner Einflußfaktoren im Bereich Haltung und Schlachtung auf die Fleischqualität*. Züchtungskunde, 53 (5), 390-399.
- BAUMGARTNER, W. (2009). Allgemeiner klinischer Untersuchungsgang. In W. BAUMGARTNER, *Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere* (S. 43-195). Parey Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- BICKHARDT, K. (1992). *Kompendium der allgemeinen inneren Medizin und Pathophysiologie für Tierärzte*. Paul Parey, Hamburg und Berlin, Deutschland.
- BLACKMORE, D., & NEWKOOK, J. (1982). The onset of permanent insensibility in calves during slaughter. *Meat Science* 6 (4), 295-300.

- BLE. (2020). *Tierwohl-Eckpunkte*. Von Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung: www.bmel.de/DE/Themen/tiere/Tierschutz/Tierwohleckpunkte.html (Zugriff am: 18.02.2020) abgerufen
- BMEL. (2019). *Verbesserungen des Tierschutzes auf europäischer Ebene*. Von Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: <http://www.bmel.de/DE/Tier/Tierschutz/Tierwohltexte/Tierwohl.html> (Zugriff: 05.05.2019) abgerufen
- BMEL. (2020). *Landwirtschaft verstehen, Fakten und Hintergründe*. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Referat 721, Berlin, Deutschland.
- BMJV. (2021). *(EG) 882/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über amtliche Kontrollen zur Überprüfung der Einhaltung des Lebensmittel- und Futtermittelrechts, sowie der Bestimmungen über Tiergesundheit und Tierschutz*. Von Bundesministerium der Justiz und Verbraucherschutz // EUR-LexVO: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32004R0882&qid=1645190150899>, (Zugriff am:18.05.2021) abgerufen
- BMJV. (2021). *(EG) Nr. 1099/2009 des Rates vom 24. September 2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung*. Von EUR-LexVO : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32009R1099&qid=1645190537070> (Zugriff am: 15.05.2021) abgerufen
- BOISSY, A., & BOUISSOU, M. (1988). *Effects of early handling on heifers subsequent reactivity to humans and to unfamiliar situations*. Applied Animal Behaviour Science 20, 259-273.
- BROWN-BRANDL, T., EIGENBERG, R., & NIENABER, J. (2005). *Dynamic response Indicators of Heat Stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analysis of Indicators*. Biosystems Engineering 90 (4), 451-456.
- BUCK, M., WECHSLER, B., GYGAX, L., STEINER, B., STEINER, A., & FRIEDLI, K. (2012). *Wie reagieren Kühe auf Entmistungsschieber- Untersuchungen zum Verhalten und*

zur Herzaktivität. Bericht 750, 1-7, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Ettenhausen, Schweiz.

BURDICK, N., RANDEL, R., CARROL, J., & WELSH, T. (2011). Interaction between Temperament, Stress and immune function in cattle. *International Journal of Zoology, Volume 2011*, 1-9.

CANNON, W. (1914). The emergency function of the adrenal medulla in pain and the major emotions. *American Journal of Physiology* 33, 356-372.

CARROLL, J., & BURDICK-SANCHEZ, N. (2013). The physiology of stress and effects on immune health in ruminants. *Proceedings of the 28th annual southwest nutrition and management conference*, (S. 35-44). Arizona, USA.

CHACON, G., GARCIA-BELENGUER, S., VILLARROEL, M., & MARIA, G. (2005). Effect of transport stress on physiological responses of male bovines. *Deutsche tierärztliche Wochenschau* 112, 465-469.

COCKRAM, M., & CORLEY, K. (1991). Effect of pre-slaughter handling on the behavior and blood composition of beef cattle. *British Veterinary Journal* 147 (5), 444-454.

COHEN, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 155-159.

DALY, C., & WHITTINGTON, P. (1989). Investigation into the principle determinants of effective captive bolt stunning of sheep. *Research in Veterinary Science* 46, 406-408.

DALY, C., KALLWEIT, E., & ELLENDORF, F. (1988). Cortical function in cattle during slaughter, Conventional captive bolt stunning followed by exsanguination compared with shechita slaughter. *The Veterinary Record*, 325-332.

DANTZER, R. (1993). Research Perspective in Farm Animals: The concept of Stress. *Journal of Agriculture and Environmental Ethics* 6, 86-92.

DE LA LAMA, M. (2013). *Transport and pre-slaughter logistics: Definitions and current tendencies in animal welfare and meat quality*. *Veterinaria Mexico OA*, 44 (1).

DESIRE, L., VEISSIER, I., DESPRES, G., & BOISSY, A. (2004). On the assess emotions in animals: Do lambs (*Ovis aries*) evaluate an event through its suddenness, novelty or unpredictability? *Journal of Comparative Psychology* 118, 363-374.

- DOERFLER, K. (2015). *Bewertung verschiedener Bolzenschussbetäubungsapparate beim Rind hinsichtlich ihrer Effektivität und ihres Einflusses auf den Ausblutungsgrad*. Dissertation med. vet., Universität Leipzig (Veterinärmedizinische Fakultät), Leipzig, Deutschland.
- DRAWER, K. (1987). Das Schlachten von Tieren im geänderten Tierschutzgesetz. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 94, 106-107.
- DUNN, S. (1990). Stress reaction of cattle undergoing ritual slaughter using two methods of restraint. *Veterinary Record* 126, 522-525.
- DÜPJAN, S. (2008). *Stress-related acoustic communication in the domestic pig*. Dissertation, Universität Rostock (Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät), Deutschland.
- EDWARDS, L., GRANDIN, T., ENGEL, T., PORTER, S., RITTER, M., SOSNICKI, A., & ANDERSON, D. (2010). Use of exanguination blood lactate to assess the quality of pre-slaughter pig handling. *Meat Science* 86 (2), 384-390.
- EFSA. (2009). Scientific report on the effects of farming systems on dairy cow welfare and disease. *EFSA Journal* 2009, 1143, 1-284.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION. (2021). *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DEN EUROPÄISCHEN RAT UND DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT- Eine Energiepolitik für Europa*. Von EUR-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A52007DC0001> (Zugriff am:19.05.2021) abgerufen
- FAHRBACH, R. (1948). *Die heute üblichen Betäubungsverfahren bei Schlachttieren und ihre historische Entwicklung*. Dissertation med. vet., Stiftung Tierärztliche Hochschule, Hannover, Deutschland.
- FELL, L., COLDITZ, I., & WALKER, K. (1999). Associations between temperament, performance and immune function in cattle entering a commercial feedlot. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 795-802.

- FIEGUTH, L. H. (2014). *Untersuchung zur Stressantwort bei Milchkühen anhand eines ACTH Stimulationstests und Evaluierung der Herzratenvariabilität*. Dissertation med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover, Deutschland.
- FIEGUTH, L., NIMER, K., LOCHER, I., & REHAGE, J. (2013). *Evaluierung eines telemetrischen Herzfrequenzmonitors zur Stresserfassung bei Milchkühen*. Abstract der 10. Biatrik Tagung 2013, Klinik für Wiederkäuer, LMU München, Deutschland.
- FJELKNER-MODIG, S., & RUDERUS, H. (1983). The influence of exhaustion and electrical stimulation on the meat quality of youngbulls: Part 1- Post mortem pH and temperature. *Meat Science* 8, 185-201.
- FRANCKE-GRICKSCH, N. (2021). *HRV- Herzratenvariabilität, Die Signale des Herzens verstehen*. Von FRANCKE-GRICKSCH, N.: <https://hrv-herzratenvariabilität.de> (Zugriff am: 18.02.2021) abgerufen
- FRECKMANN, M. (2020). *Der Einsatz von Nachhaltigkeitslabeln im Marketing*. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen, Deutschland.
- GAßNER, V. (2014). *Greenpeace Strategie: Mit social media druck erzeugen*. <https://www.kom.de/medien/greenpeace-strategie-mit-social-media-druck-erzeugen/>.
- GASTECKER, R. (2016). *Rinderumgang- Führungskräfte training für RinderhalterInnen (Verhalten, Wahrnehmung, Kommunikation, Treiben, Verladen, Fixieren)*. Ländliches Fortbildungs Institut, Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Österreich.
- GEBRESENBET, G., WIKNER, I., BOBOBEE, E., MARIA, G., & VILLARROEL, M. (2012). Effect of transport time and handling on physiological responses of cattle. *Journal of Agricultural Science and Technology*, S.807.
- GEISCHEDER, S. A. (2017). *Auswirkungen von Hitzestress auf Milchkühe der Rasse Fleckvieh unter bayrischen Klimabedingungen und Einfluss einer Unterstützungslüftung durch Ventilatoren*. Dissertation med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.

- GILBERT, K. (1993). *Electrical stunning and slaughter in New Zealand*. Technical Report 908, Meat Industry Research Institute of New Zealand, Hamilton.
- GONYOU, H. (1993). Behavioural principles of animal handling and transport. In T. Grandin, *Livestock Handling and Transport* (S. 15-25). CABI Publishing, Wallingford, UK.
- GRANDIN, T. (1978). *The effect of social regrouping on the incidence of dark cutting carcasses in beef steers*. 70th Annual Meeting of the American Society of Animal Science, Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA.
- GRANDIN, T. (1980). Observations 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, 249-257.
- GRANDIN, T. (1998a). The feasibility of using vocalization scoring as an indicator of poor welfare during cattle slaughter. *Applied Animal Behaviour Science* 56 (2), 121-128.
- GRANDIN, T. (1998b). Objective scoring of animal handling and stunning practices at slaughter plants. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 212 (1), 36-39.
- GRANDIN, T. (2001a). Cattle vocalisation are associated with handling and equipment problems at beef slaughter plants. *Applied Animal Behaviour* 71 (3), 191-201.
- GRANDIN, T. (2001b). *How to determine insensibility*. Von Colorado State University, Dept. of Animal Science: <https://www.grandin.com/humane/insensibility.html> (Zugriff am:18.05.2021) abgerufen
- GRANDIN, T. (2010a). *Recommended animal handling guidelines and audit guide*. Von North American Meat Institute: <http://www.animalhandling.org/ht/d/sp/i/26752/pid/26752>, (Zugriff am: 05.07.2013) abgerufen
- GRANDIN, T. (2010a). *Rinder und Schweine verstehe ich sehr gut bei huehnern klappt es nicht so*. Von Süddeutsche Zeitung Magazin: <https://sz->

- magazin.sueddeutsche.de/frauen/rinder-und-schweine-verstehe-ich-sehr-gut-bei-huehnern-klappt-es-nicht-so-77621 (Zugriff am: 10.05.2020) abgerufen
- GRANDIN, T. (2010b). Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Science* 86 (1), 56-65.
- GRANDIN, T. (2014a). *Livestock Handling Systems*. Von <http://www.grandin.com/calc.normal.scores.small.plants.html>, (Zugriff am: 08.10.2014) abgerufen
- GRANDIN, T., & REGENSTEIN, J. (1994). Religious slaughter and animal welfare: A discussion for meat scientists. *Meat Focus International* 3, 115-123.
- HABBen, M. (2020). *QRS-Komplex*. Von DocCheck Flexikon: <http://flexikon.doccheck.com/de/QRS-Komplex> (Zugriff am: 10.10.2020) abgerufen
- HAGEN, K., LANGBEIN, J., SCHMIED, C., LEXER, D., & WAIBLINGER, S. (2005). Heart rate variability in dairy cows- influences of breed and milking system. *Physiology & Behaviour* 85, 195-204.
- HAINSWORTH, R. (1995). *The control and physiological importance of heart rate*. Futura Publishing Company, Armonk, 3-19, New York, USA.
- HÄMEL, K. (2009). *Analyse von zyklusabhängigen Lauten beim Rind zur Erkennung der Brunst*. Dissertation, Freie Universität (Fachbereich Veterinärmedizin), Berlin, Deutschland.
- HARDING, E., PAUL, E., & MENDEL, M. (2004). Animal behaviour: cognitive bias and affective state. *Nature*, 312.
- HENKE, S. (2003). *Einfluss von Kurzzeittransporten auf biochemische und physiologische Reaktionen von Rindern sowie deren Schlachtkörperqualität und Fleischbeschaffenheit*. Dissertation med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover, Deutschland.
- HILSENBECK, E. M. (2007). *Untersuchung zur Entblutezeit bei Rindern nach der Bolzenschußbetäubung*. Dissertation med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.

- HÖDL, S. (2010). *Transportstress bei Pferden (Einfluss von wiederholten Transporten auf der Strasse auf die Belastung von transportunerfahrenen Pferden)*. Masterarbeit, Karl- Franzens Universität Graz (Naturwissenschaftliche Fakultät), Österreich.
- HOFFMANN, A. (2003). *Die Implementierung der Schuss-Schlag-Betäubung im zugelassenen Schlachtbetrieb*. Dissertation med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.
- HOFFMANN, G., STRUTZKE, S., PINTO, S., HEINICKE, J., HEMPEL, S., & AMON, T. (2020). Atemfrequenz als Hitzestress- Parameter bei Milchkühen und dessen automatischer Erfassung durch einen neuen Atemsensor. *Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung, Arbeitsgruppe "Stallklima und Emissionen"*, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie, Potsdam, Deutschland.
- HOFMAN, K. (1973). Was ist Fleischqualität? *Fleischwirtschaft* 53, 485.
- HOFMANN, K. (1986). *Der ph-Wert- ein Qualitätskriterium für Fleisch*. Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbacherreihe Band 6, 134-156, Kulmbach, Deutschland.
- HONKAVAARA, M., LEPPÄVUORI, A., RINTASALON, E., & ELORANTA, E. (1999). *Evaluation of animal stress and welfare during long distance transport of cattle in Finland*. 45th International Congress of Meat Science and Technology, 1.-6. August 1999, Yokohama, Japan.
- HOPSTER, H., BRUCKMAIER, R., WERF, J., KORTE, S., MACUHOVA, J., KORTE-BOUWS, G., & REENEN, C. (2002). Stress responses during milking, Comparing conventional and automatic milking in primiparous dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85, 3206-3216.
- JANDA, J., GUYOT, H., SANDERSEN, C., AMORY, H., & ROLLIN, F. (2006). *Fully automated HRV Assessment in dairy cows*. Belgian Society for Fundamental and Clinical Physiology and Pharmacology, Spring Meeting 2006. *Acta Physiologica*, 187 (Suppl 651), poster 16.
- JANZEKOVIC, M., VINDIS, P., STAJNKO, D., & BRUS, M. (2010). Polar Sport tester for cattle heart rate measurements. In I. FUERSTNER, *Advanced knowledge application in practice* (S. 157-172). IntechOpen.

- JENSEN, W., HANSEN, S., & PEDERSEN, L. (1996). *The effect of long term stress on the hypothalamic-Pituitary-Adrenocortical Axis and the Role of the stressor*. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A- Animal Science Supplement 27, 40-45.
- KALLWEIT, B., ELLENDORF, F., DALY, C., & SCHMIDT, D. (1989). Physiologische Reaktionen bei der Schlachtung von Rindern und Schafen mit und ohne Betäubung. *Deutsche tierärztliche Wochenschrift* 96, 89-92.
- KAUFFMAN, R., HABEL, R., SMULDERS, F., HARTMAN, W., & BERGSTRÖM, P. (1990). Recommended terminology for muscle commonly designated 'longissimus dorsi'. *Meat Science, Volume 28, Issue 3*, 259-265.
- KAUFMANN, T., & THUN, R. (1998). Einfluß von aktuellem Streß auf die Sekretion von Cortisol und Progesteron beim Rind. *Tierärztliche Umschau* 53 (7), 403-409.
- KHOKHAR, T. (2014). *Die Analyse der Herzratenvariabilität- Methodik und diagnostische Aussagekraft*. Masterarbeit, Hochschule für Angewandte Wissenschaften (Studiengang Medizintechnik), Hamburg, Deutschland.
- KILGOUR, R., MELVILLE, G., & GREENWOOD, P. (2006). Individual differences in the reaction of beef cattle to situations involving social isolation, close proximity of humans, restraint and novelty. *Applied Animal Behaviour Science* 99, 21-40.
- KIRSCH, K. (1994). Leistungsphysiologie. In R. KLINKE, & S. SILBERNAGL, *Lehrbuch der Physiologie* (S. 517-538). Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- KOVÁCS, L., KÉZÉR, F., JURKOVICH, V., KULCSÁR-HUSZENICZA, M., & TÖZSÉR, J. (2015a). Heart Rate Variability as an Indicator of Chronic Stress Caused by Lameness in Dairy Cows. *PLoS One* 10 (8), e0134792.
- KOVÁCS, L., KÉZÉR, F., TÖZSÉR, J., SZENCI, O., PÓTI, P., & PAJOR, F. (2015b). Heart Rate and Heart Rate Variability in Dairy Cows with Different Temperament and behavioural Reactivity to Humans. *PLoS One* DOI:10.1371/journal.pone.0136294, University of Parma, Italien.
- KUWAHARA, M., HASHIMOTO, K., ISHII, Y., HIRAGA, M., KUBO, K., OKI, H., . . . SUGANO, S. (1996). Assessment of autonomic nervous function by power spectral analysis

- of heart rate variability in the horse. *Journal of the Autonomic Nervous System* 60 (1-2), 43-48.
- LAV. (2017a). *Vollzugshinweise zur Verordnung (EG) 1099/2009 des Rates vom 24. Sept. 2009 über den Schutz von Tieren zum Zeitpunkt der Tötung und zur Tierschutz-Schlachtverordnung vom 20. Dezember 2012*. Länderarbeitsgemeinschaft Verbraucherschutz, AG Tierschutz (Fassung: Mai 2017).
- LAV. (2017b). *Vollzugshinweise zur Verordnung (EG) Nr. 1/2005 über den Schutz von Tieren beim Transport und die Tierschutztransportverordnung*. In *Handbuch Tiertransporte*,. Mitglieder der Länderarbeitsgruppe (Dr. Ulrike Marschner), (Fassung: Mai 2017).
- LAWRENCE, A., TERLOUW, E., & ILLIUS, A. (1991). Individual differences in behavior-responses of pigs exposed to nonsocial and social challenges. *Applied Animal Behaviour Science*,, 73-86.
- LICHT, A. (2000). *Nicht- invasive Streßparameter beim Trabrennpferd*. Dissertation med. vet., Ludwig-Maximilian-Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.
- LIPPONEN, J. A., & TARVAINEN, M. P. (2019). A robust algorithm for heart rate variability time series artefact correction using novel beat classification. *Journal of Medical Engineering & Technology* 43 (3), 173-181.
- LOEFFLER, K. (2002). *Anatomie und Physiologie der Haustiere*. Ulmer UTB 10. Auflage, 211-225, Stuttgart, Deutschland.
- LOIJENS, C., JANSSENS, B. J., SCHOUTENA, W., & WIEGANT, V. (2002). Opioid activity in behavioral and heart rate responses of tethered pigs to acute stress. *Physiology & Behavior* 75, 621-626.
- LYHS, L. (1971). Der Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Nutztiere. In L. LYHS, *Grundlagen der Thermoregulation und des Wärmehaushaltes* (S. 13-36). Gustav Fischer Verlag, Jena, Deutschland.
- MÄNNL, M. (1993). *Die Schuss-Schlag-Betäubung. Technologie, Anatomie und Pathologie eines Betäubungsverfahrens für Schlachtschweine*. Dissertation med.

vet., Ludwig-Maximilian-Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.

MANTEUFFEL, G., & SCHÖN, P. (2004). *Stremodo, ein innovatives Verfahren zur kontinuierlichen Erfassung der Stressbelastung von Schweinen bei Haltung und Transport*. Forschungsinstitut für Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere, Dummerdorf, Deutschland: *Archives of Animal Breeding* 47 (2), 173-181.

MARAHRENS, M. (1994). *Methoden für physiologische Untersuchungen an Tieren auf dem Transport*. Hygiene und Tierschutz beim Tiertransport, 60-71, DVG Tagung 8.-9. März 1994, Hannover, Deutschland.

MARAHRENS, M., & HARTUNG, J. (1999). *Untersuchung zum tierschutzgerechten LKW Transport von Rindern auf Langstrecken Teil II*. Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter (ADR), Bericht, Bonn, Deutschland.

MARAHRENS, M., HARTUNG, J., & PARVIZI, N. (1999). *Untersuchungen zum tierschutzgerechten LKW Transport von Rindern auf Langstrecken Teil I*. Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter (ADR), Bericht, Bonn, Deutschland.

MARCHANT-FORDE, R., & MARLIN, D. (2004). Validation of a cardiac monitor for measuring heart rate variability in adult female pigs: accuracy, artefacts and editing. *Physiology & Behavior* 80 (4), 449-458.

MATZKE, P., ALPS, H., STRASSER, H., & GUNTER, I. (1985). Bullenmast aus kontrollierten Haltungs- und Schlachtbedingungen. *Fleischwirtschaft* 65 (3), 389-393.

MAYER, C. (2005). *Wirkung eines synthetisch hergestellten Pheromonanaloges auf das Wohlbefinden von Mastschweinen beim Transport zum Schlachthof*. Dissertation med. vet., Ludwig Maximilians Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.

MEDTRONIC. (2017). *Log Data Description Bio Modul 3.0*. Annapolis MD 21401, USA.

MINDFIELD. (2019). *Erklärung der Herzratenvariabilität (HRV) Parameter*. Von www.mindfield.de/de/Biofeedback/Erklärung-der-Herzratenvariabilität-HRV-Parameter.html (Zugriff am: 17.05.2019) abgerufen

- MOBERG, G. (1985). *Biological response to stress: Key to assessment of animal well-being?* Springer Verlag, 27-49, New York.
- MOBERG, G., & MENCH, A. (2000). *The biology of animal stress: Basic principles and implications for animal welfare.* CABI Publishing, 1-21, Oxford, England.
- MOHR, E., LANGBEIN, J., & NÜRNBERG, G. (2002). Heart rate variability- A noninvasive approach to measure in calves and cows. *Physiology & Behavior* 75, 251-259.
- NIEDERHÖFER, S. (2009). *Stressbelastung bei Pferden in Abhängigkeit des Haltungssystems.* Dissertation, Tierärztliche Hochschule, Hannover, Deutschland.
- NORMANN-EHRENFELS, N. (2005). *Die Schuss-Schlagbetäubung beim Rind unter Berücksichtigung der Embolisierung von zentralnervösem Gewebe in Lunge und Herz.* Dissertation med. vet., Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland.
- OIE. (2013). *Terrestrial animal health code.* World Organisation for animal health, Paris, Frankreich.
- PALME, R. (2012). Monitoring stress hormone metabolites as a useful, non-invasive tool for welfare assessment in farm animals. *Animal Welfare* 21, 331-337.
- PALME, R., & MÖSTL, A. (2002). Hormones as indicators of stress. *Domestic Animal Endocrinology* 23, 67-74.
- PAUL, E., HARDING, E., & MENDEL, M. (2005). Measuring emotional process in animals: the utility of a cognitive approach. *Neuroscience Biobehavioral Reviews* 29 (3), 469-491.
- PETHERICK, J., DOOGAN, V., VENUS, B., HOLROYD, R., & OLSSON, P. (2009). Quality of handling and holding yard environment and beef cattle temperature- Consequences for stress and productivity. *Applied Animal Behaviour Science* 120, 28-38.
- PRÄNDL, O., FISCHER, A., SCHMIDHOFER, T., & SINELL, H. (1988). Farbe. In O. PRÄNDL, A. FISCHER, T. SCHMIDHOFER, & H. SINELL, *Fleisch- Technologie und Hygiene der Gewinnung und Verarbeitung* (S. 697-702). Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, Deutschland.

- RADEISEN, M. (2020). *Evaluierung der Herzfrequenzvariabilitätsmessung zur perioperativen Schmerzkontrolle bei Schweinen im Kastrationsmodell*. Dissertation med. vet., Freie Universität, Berlin, Deutschland.
- REICHE, A., OBERSON, J., SILACCI, P., MESSADÉNE-CHELALI, J., HESS, H., DOHME-MEIER, F., . . . TERLOUW, C. (2019). Pre-slaughter stress and horn status influence physiology and meat quality of young bulls. *Meat Science* 158.
- REYMANN, T. U. (2016). *Vergleichende Überprüfung des Tierschutzes in Schlachthöfen anhand rechtlicher Vorgaben und fachlicher Leitparameter*. Dissertation med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.
- RIEK, W. (1980). *Die Betäubung von Rindern vor dem Schlachten mit Hilfe des Bolzenschussapparates*. Dissertation med. vet., Universität Zürich , Schweiz.
- RIMBACH, G., MÖHRING, J., & ERBERSDOBLER, H. (2010). *Fleisch und Wurstwaren*. Kiel: Institut für Humanernährung und Lebensmittelkunde, Christian-Albrechts Universität, Springer- Lehrbuch.
- RUIS, M., DE GROOT, J., BRAKE, T., EKKELE, E., VAN DE BURGWAAL, J., & ERKENS, J. (2001). Behavioural and physiological consequences of acute social defeat in growing gilts. *Applied Animal Behaviour Science* 70 (3), 201-225.
- RUSHEN, J., DE PASSILLÈ, A., VON KEYSERLINCK, M., & WEARY, D. (2008). *The welfare of cattle*. Springer Verlag, 142-180.
- RÜTZ, M. (2010). *Untersuchung verschiedener Parameter auf ihre Eignung zur Bewertung der Tiergesundheit von Laufställen für Milchkühe im Rahmen eines On-Farm welfare assessment*. Dissertation med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität, München, Deutschland.
- SAMMITO, S., & BÖCKELMANN, I. (2015). *Mathematische Basis und praktische Anwendung*. Von Analyse der Herzfrequenzvariabilität: <https://doi.org/10.1007/s00059-014-4145-7> (Zugriff am: 10.05.2019) abgerufen
- SHELLHOFF, D. (2009). *Wirkung eines synthetischen Equinen Appeasing Pheromons (E.A.P) auf das Stressgeschehen von Pferden beim Transport*. Dissertation med.

vet., Ludwig-Maximilians-Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.

- SCHUETT-ABRAHAM, I. (2001). *Tierschutzgerechte Bolzenschussbetäubung*. Von Stellungnahme des Bundesinstitutes für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin: <http://schuett-abraham.de/schlachtung/schlachten.html> (Zugriff am:16.08.2019) abgerufen
- SCHWÄGELE, F. (1998). Kühlung, Kühllagerung und Fleischreifung- chemische und physikalische Grundlagen. *Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach, Deutschland*, 7-35.
- SHAFFER, F., & GINSBERG, J. (2017). An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health* 5, 258.
- STEWART, M., VERKERK, G., STAFFORD, K., SCHAEFER, A., & WEBSTER, J. (2010). Noninvasive assessment of autonomic activity for evaluation of pain in calves, using surgical castration as a model. *Journal of Dairy Science* 93 (8), 3602-3609.
- STÖBER, M., DIRKSEN, G., & GRÜNDER, H. (2012). Kennzeichen, Anamnese, Grundregeln der Untersuchungstechnik, Allgemeine Untersuchung. In M. STÖBER, G. DIRKSEN, & H. GRÜNDER, *Die klinische Untersuchung des Rindes* (S. 75-141). Enke Verlag, Stuttgart.
- STOJKOV, J., KEYSERLING von, M., MARCHANT-FORD, J., & WEARY, D. (2015). Assessment of visceral pain associated with metritis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98(8), 5352-5361.
- SUESS, M., & ANDREAE, U. (1984). Sozialverhalten. In A. FRASER, *Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere* (S. 40-43). Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Deutschland.
- SUTHERLAND, M., ROGERS, A., & VERKERK, G. (2012). The effect of temperament and responsiveness towards humans on the behavior, physiology and milk production of multi-parous dairy cows in a familiar and novel milking environment. *Physiology & Behavior* 7, 329-337.

- TARRANT, P., & GRANDIN, T. (2000). Cattle Transport. In T. GRANDIN, *Livestock Handling and Transport* (S. 151-173). CABI Publishing, Wallingford, England.
- TARRANT, P., KENNY, F., HARRINGTON, D., & MURPHY, M. (1992). Long distance transportation of steers to slaughter: effect of stocking density on physiology. *Livestock Production Science* 30, (3), 223-238.
- TARVAINEN, M., LIPPONEN, J., NISKANEN, J., PERTTU, O., & RANTA-AHO. (2018). *Handbuch Kubios HRV, ver. 3.1.* 1-39, Finland.
- TASK-FORCE. (1996). *Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use.* *Circulation* 93, 1043-1065.
- THIELSCHER, H. (2010). Der Einfluß eines kontrollierten Lauftrainings auf das Elektrokardiogramm bei Schweinen verschiedener Rassen. *Journal of Veterinary Medicine. Serie A- Physiology, Pathology, Clinical Medicine*, 602-618.
- TOBER, O., LOEBSIN, C., & HOFFMANN, G. (2014). *Untersuchung zur Herzfrequenzvariabilität von Milchkühen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen (Stand: 06.12.2016).* Von [http://www.landwirtschaft-mv.de/cms/LFAprod/LFA/content/de/Fachinformation/Tierproduktion//Milcherzeugung/Broschuere Stallklima/BroschreAGStallklima end.pdf](http://www.landwirtschaft-mv.de/cms/LFAprod/LFA/content/de/Fachinformation/Tierproduktion//Milcherzeugung/Broschuere%20Stallklima/BroschreAGStallklima%20end.pdf), (Zugriff am: 02.10.2020) abgerufen
- TROEGER, K. (1990). Schlachten, Tierschutz und Fleischqualität. *Fleischwirtschaft* 70, (3), 266-272.
- TROEGER, K. (2010). *Kontrollmöglichkeiten der Wirksamkeit von Betäubung und Entblutung bei der industriellen Schweineschlachtung.* *Amtierärztlicher Dienst und Lebensmittelkontrolle* 17, (3), 169-172.
- VAN REENEN, C., ENGEL, B., RUIS-HEUTNICK, L., WERF van der, J., BUIST, W., JONES, R., & BLOCKHUIS, H. (2004). *Behavioural reactivity of heifer calves in potentially alarming test situations: a multivariate and correlation analysis.* *Applied Animal Behaviour Science* 85, 11-30.

- VICKERS, L., BURFEIND, O., KEYSERLINGK von, M., VEIRA, D., WEARY, D., & HEUWIESER, W. (2010). Comparison of rectal and vaginal temperatures in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93, 5246-5251.
- VON BORELL, E. (2000). Stress and coping in farm animals. *Archiv Tierzucht, Dummerstorf* 43 Sonderheft, 144-152.
- VON BORELL, E., & SCHÄFFER, D. (2005). Legal requirements and assessment of stress and welfare during transportation and pre-slaughter handling of pigs. *Livestock Production Science* 97, 81-87.
- VON BORELL, E., BÜNGER, B., SCHMIDT, T., & HORN, T. (2009). Vocal-type classification as a tool to identify stress in piglets under on-farm conditions. *Animal Welfare Volume 18, Number 4*, 407-416.
- VON BORELL, E., LANGBEIN, J., DESPRÈS, G., HANSEN, S., LETERRIER, C., MARCHANT-FORDE, J., . . . VEISSIER, I. (2007). Heart rate variability as a measure of autonomic regulations of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals. *Physiology & Behavior* 92, 293-316.
- VON HOLLEBEN, K. (2010). *Bericht über gute und nachteilige Praktiken bei der religiösen Schlachtung- Tierschutzbedenken aus tiermedizinischer Sicht in Bezug auf Schlachtverfahren*. Von Bundesverband der beamteten Tierärzte: <https://amtstierarzt.de/20-fachthemen/tierschutz-tierhaltung/451-gute-und-nachteilige-praktiken-bei-der-religioesen-schlachtung> (Zugriff am: 02.04.2021) abgerufen
- WAIBLINGER, S., MENKE, C., KORFF, J., & BUCHER, A. (2004). Previous handling and gentle interactions affect behaviour and heart rate of dairy cows during a veterinary procedure. *Applied Animal Behaviour Science* 85, 31-42.
- WASILEWSKI, A. (2003). *Freundschaft bei Huftieren? Soziopositive Beziehung zwischen nicht verwandten Herdenmitgliedern*. Dissertation, Philipps-Universität Marburg (Fachbereich Biologie), Deutschland.
- WEILER, K., KUHNE, F., KRAMER, M., & PUPPE, B. (2015). *Optimist oder Pessimist- Vorteile und Nachteile eines neuen Modells zur Beurteilung des Wohlbefindens*

- von Hunden. LBH, 8. Leipziger Tierärzte Kongress Band 1, 673, Leipzig, Deutschland.
- WEISS, D., HELMREICH, E., MOSTL, A., & DIZIDIC, A. (2004). Coping capacity of dairy cows during the change from conventional to automatic milking. *Journal of Animal Science* 82, 563-570.
- WITTE, E. (2001). *Herzfrequenzvariabilität beim Pferd in Ruhe und nach Belastung*. Dissertation med. vet., Freie Universität (Tierärztliche Fakultät), Berlin, Deutschland.
- WOBBROCK, J. O., FINDLATER, L., GERGLE, D., & HIGGINS, J. J. (2011). The aligned rank transform for nonparametric factorial analyses using only anova procedures. *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, 143-146.
- WULLINGER-REBER, H. (2019). *Mobile Schlachtung von Schweine aus Freilandhaltung - Tierschutz, Fleischqualität und Lebensmittelsicherheit*. Dissertation med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität (Tierärztliche Fakultät), München, Deutschland.
- ZEBUNKE, M., KRAUSE, A., LANGBEIN, J., & PUPPE, B. (2017). Können kognitive Umweltanreicherungen Nutztiere glücklicher machen? In IGN, *Nutztierhaltung im Fokus: Emotionen und Stimmungen bei Nutztieren* (S. 8-13). München, Deutschland.

DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen und Herrn Prof. Dr. Eberhard von Borell für die Überlassung dieses Themas danken und die Hilfe bei der Planung und Umsetzung. Ohne gelegentliche vor Ort Termine wäre die Durchführung dieses Dissertationsprojektes schwierig geworden.

Frau Dr. Wensch-Dorendorf vom statistisch/ biometrischen Institut der Martin-Luther Universität in Halle-Wittenberg danke ich außerordentlich für die kompetente Unterstützung und die Anregungen bei den statistischen Auswertung des Datenmaterials.

Besonders möchte ich mich bei Frau Dr. Camille Raoult bedanken, Sie hat mich bei der wissenschaftlichen Arbeit betreut und immer wieder motiviert. Ich bin sehr dankbar und glücklich, Sie kennengelernt zu haben!

Aus der Ferne möchte ich Mikka vom Team Kubios HRV in Finnland für seine E-Mail Unterstützung danken.

Nicht zuletzt gilt mein liebster Dank meiner Familie. Meinen Eltern Gerhard & Felicitas und meinem Bruder Andreas mit Familie, die mich auf diesem Weg vorbehaltlos unterstützt haben und meiner lieben Frau Claudia mit Julian, Lena und Felix, die nicht nur mein Leben lebenswert machen, sondern mich auch im Laufe dieser Arbeit immer wieder bestärkt und motiviert haben.

Allen anderen, hier nicht namentlich erwähnten Personen sei ebenfalls für Ihre Auskunftsbereitschaft, Hilfestellung und Interesse gedankt.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name: Korb, Christian

Ausbildung & Qualifikation

Seit 2007 Mitglied der Geschäftsleitung eines EU-Schlacht- & Zerlegebetriebs

2005 Meisterprüfung im Fleischerhandwerk

2003-2007 Diplom an der FH-Weihenstephan Abt. Triesdorf

2002 Namibia, Rinder-/Straußen-/Lamm-Farmen und Schlachthof

2002 Bundesfachschule /Versuchsanstalt für Viehhaltung

1999 -2002 Lehre zum Groß & Außenhandelskaufmann

1990 -1999 Abitur

1986 – 1990 Grundschule

1985 – 1986 Vorschule

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und sämtliche Zitate kenntlich gemacht habe. Ich versichere, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorliegt.

Name, Vorname: Korb, Christian

Matrikelnummer: %

03.06.2024

c. Korb

Datum

Unterschrift