

Aus dem Institut Verhaltensphysiologie des
Leibniz-Instituts für Nutztierbiologie (FBN), Dummerstorf

Erfassung der affektiven Herzaktivität und des Verhaltens beim
Hausschwein (*Sus scrofa domestica*) in einem emotional
wirksamen Antizipationsparadigma

Universität Rostock
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Institut für Biowissenschaften

Dissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von
Dipl. Biol. Steffi Mahnhardt, geb. Jaskulke am 08.05.1981 in Schwerin

Greifswald 2015

Gutachter:

1. Gutachter:

Prof. (apl.) Dr. Gerhard Manteuffel,
Institut für Biowissenschaften, Universität Rostock;
Institutsleiter Verhaltensphysiologie vom Leibniz-
Institut für Nutztierbiologie (FBN) Dummerstorf
(1994-2014)

2. Gutachter:

Prof. Eberhard von Borell
Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften,
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Naturwissenschaftliche Fakultät III

Datum der Einreichung: 03. Juli 2015

Datum der Verteidigung: 27. November 2015

Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG MA 943/13-1) und das Leibniz-Institut für Nutztierbiologie (FBN) gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis..... 7

1 Einleitung..... 8

1.1 Allgemeine Motivation 8

1.2 Wohlbefinden..... 8

 1.2.1 Allgemein 8

 1.2.1 Stress, Homöostase und das Prinzip der Allostase 9

1.3 Affekt, Emotion, Stimmung bei Tieren..... 10

 1.3.1 Allgemein 10

 1.3.2 Induzierung von Emotionen bei Schweinen 11

 1.3.3 Induzierung von Emotionen mit Hilfe der Antizipation..... 12

1.4 Indikatoren von emotionalen Zuständen und Stimmungen..... 13

 1.4.1 Allgemein 13

 1.4.2 Verhaltensparameter 15

 1.4.3 Herzfrequenz (HR) und Herzfrequenzvariabilität (HRV) 15

 1.4.3.1 Allgemeine Einführung: Entstehung des Herzschlags 15

 1.4.3.2 Regulation der Herzfrequenz 17

 1.4.3.3 Grundlagen zur Herzfrequenzvariabilität 18

 1.4.3.4 Herzfrequenzvariabilität: Nutzung als Indikator für Wohlbefinden 18

 1.4.3.5 Analysemethoden der Herzfrequenzvariabilität 19

1.5 Fragestellung dieser Arbeit 22

2 Material & Methoden 23

2.1 Versuchstiere und Haltung..... 23

2.2 Versuchsablauf und Behandlungen der Tiere 25

2.3 Konditionierung der Tiere..... 26

2.4 Versuchsparameter..... 27

 2.4.1 Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität 27

 2.4.2 Verhalten 30

 2.4.3 Körpergewicht..... 31

2.5 Datenauswertung/Statistik..... 31

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.5.1 | <i>Begriffsdefinitionen</i> | 31 |
| 2.5.2 | <i>Statistische Auswertung</i> | 32 |
| 3 | Ergebnisse | 34 |
| 3.1 | Übersicht | 34 |
| 3.2 | Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität | 34 |
| 3.2.1 | <i>Kurzfristige Veränderungen (angekündigtes vs. unangekündigtes Ereignis)</i> 34 | |
| 3.2.2 | <i>Antizipation (Tonsignalminute) – Kurzfristige Veränderungen</i> | 40 |
| 3.2.3 | <i>Langfristige Veränderungen – Basalwerte</i> | 43 |
| 3.2.4 | <i>Langfristige Antizipation der Fütterung</i> | 51 |
| 3.2.5 | <i>Spearman's Rangkorrelation der Zeit- und Frequenzbereichsanalyse</i> | 53 |
| 3.3 | Verhalten | 54 |
| 3.3.1 | <i>Verhaltensveränderungen (angekündigtes vs. unangekündigtes Ereignis)</i> | 54 |
| 3.3.2 | <i>Antizipation (Tonsignalminute)</i> | 55 |
| 3.3.3 | <i>Verhalten der ambivalent gereizten Gruppe</i> | 57 |
| 3.3.4 | <i>Langfristige Veränderungen des Verhaltens</i> | 59 |
| 3.3.5 | <i>Langfristige Antizipation der Fütterung</i> | 60 |
| 3.4 | Gewichte | 60 |
| 4 | Diskussion | 61 |
| 4.1 | Übersicht | 61 |
| 4.2 | Versuchsdesign - Reizauswahl..... | 61 |
| 4.3 | Herzaktivität und Verhalten | 62 |
| 4.3.1 | <i>Einführung</i> | 62 |
| 4.3.2 | <i>Haupteffekte bei den Herz- und Verhaltensparametern</i> | 64 |
| 4.3.3 | <i>Kurzfristige Veränderungen der Herz-und Verhaltensparameter</i> | 65 |
| 4.3.3.1 | <i>Überblick</i> | 65 |
| 4.3.3.2 | <i>Affektive Antizipation</i> | 65 |
| 4.3.3.3 | <i>Reaktionen auf die Reizapplikation</i> | 68 |
| 4.3.4 | <i>Längerfristige Veränderungen</i> | 70 |
| 4.3.4.1 | <i>Überblick</i> | 70 |
| 4.3.4.2 | <i>Basale Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität sowie Verhalten</i> | 71 |
| 4.3.4.3 | <i>Veränderungen der autonomen Balance</i> | 72 |

| | | |
|----------|--|--------------|
| 4.3.4.4 | <i>Langfristige Antizipation der Fütterung</i> | 74 |
| 4.4 | Fütterungsmanagement | 74 |
| 4.5 | Methodendiskussion..... | 76 |
| 4.5.1 | <i>Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität</i> | 76 |
| 4.5.2 | <i>Verhalten</i> | 77 |
| 4.6 | Fazit..... | 77 |
| 5 | Zusammenfassung | 81 |
| 6 | Summary | 83 |
| | Literaturliste | 85 |
| | Anhang | 100 |
| | Tabellenverzeichnis | 114 |
| | Abbildungsverzeichnis | 116 |
| | Danksagung | 118 |
| | Veröffentlichungen, Vorträge, Poster | 11919 |
| | Selbständigkeitserklärung | 12020 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------|---|
| Abb. | Abbildung |
| Anh. | Anhang |
| ANOVA | Varianzanalyse |
| ANS | autonomes Nervensystem |
| AV-Knoten | Atrioventrikularknoten des Herzens |
| Beh. | Behandlung |
| BHR | Basalherzfrequenz |
| BHRV | Basalherzfrequenzvariabilität |
| bpm | (engl.) beats per minute = (dt.) Herzschläge pro Minute; internationale Einheit der Herzfrequenz (HR) |
| bzw. | beziehungsweise |
| ca. | Circa |
| CRH | Corticotropin-releasing Hormone |
| dB | Dezibel (Einheit für Schalldruckpegel) |
| DG | Versuchsdurchgang |
| d.h. | das heißt |
| EAS | Experimentalanlage Schwein |
| EKG | Elektrokardiogramm |
| engl. | englisch |
| et al. | (lat.) et alii = (dt.) und andere |
| F | F-Wert aus der Varianzanalyse |
| FBN | Leibniz-Institut für Nutztierbiologie |
| Fg | Futtergabe |
| g | Gramm |
| ggf. | gegebenenfalls |
| GR | Glucocorticoidrezeptor |
| HF | (engl.) high frequency = (dt.) hochfrequenz-Band im Powerspektrum einer Fast Fourier Analyse der RR-Intervalle (Frequenzanalyse) |
| HF-Bande | 0,33 – 0,83 Hz bei Ferkeln |
| HF n.u. | (engl.) normalized units = (dt.) normalisierte Einheit; Energie des HF-Bands in normalisierten Einheiten ($HF [n.u.] = HF [ms^2] / (\text{total power} [ms^2] - VLF [ms^2])$) |
| HPA-Achse | Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse |
| HR | (engl.) heart rate = (dt.) Herzschlagfrequenz oder Herzfrequenz [bpm] ($HR [bpm] = 60.000 / \text{RR-Intervall} [ms]$). |
| HRV | (engl.) heart rate variability = (dt.) Herzfrequenzvariabilität; bezeichnet die für den gesunden Organismus typische Unregelmäßigkeit aufeinanderfolgender RR-Intervalle (Hansen, 1999) |
| Hz | Hertz; physikalische Einheit für die Frequenz |
| i.d.R. | in der Regel |
| kg | Kilogramm |
| lat. | Lateinisch |
| LF | (engl.) low frequency (LF-)band im Powerspektrum einer Fast Fourier Analyse der RR-Intervalle (Frequenzanalyse) |
| LF-Bande | 0,04 – 0,33 Hz bei Ferkeln |

| | |
|--------------|--|
| LF n.u. | (engl.) normalized units = (dt.) normalisierte Einheit; Energie des LF-Bands in normalisierten Einheiten (LF [n.u.] = LF [ms ²]/(total power [ms ²] – VLF [ms ²])) |
| Lg | Luftstoßgabe |
| LSM | (engl.) Least square mean, (= kleinste Quadrate Mittelwert) |
| lx | Lux (Maß der Beleuchtungsstärke) |
| LW | Lebenswoche |
| m | Meter |
| mg | Milligramm |
| min | Minuten |
| ml | Milliliter |
| ms | Millisekunden |
| n | Stichprobengröße (Anzahl der Tiere, Messungen, usw.) |
| N. | Nervus |
| Nr. | Nummer |
| o.g. | oben genannt(-e,-er) |
| p | p-Wert; Irrtumswahrscheinlichkeit, (engl.) p-level |
| PVN | paraventriculäre Nucleus des Hypothalamus |
| r | Korrelationskoeffizient |
| RELS | Reizbildungs- und Erregungsleitungssystem (des Herzens) |
| RMSSD | (engl.) root mean square of successive differences (= Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe aller quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender RR-Intervalle) |
| RR-Intervall | Zeitintervall zwischen den R-Zacken aufeinander folgender Herzschläge im EKG [ms] |
| RSA | respiratorische Sinusarrhythmie |
| s | Sekunden |
| s. | siehe |
| S. | Seite |
| SA-Knoten | Sinatrial-Knoten des Herzens |
| SAM-Achse | sympathoadrenal-medulläre-Achse |
| SE | Standardfehler |
| SD | Standardabweichung |
| SDNN | Standardabweichung aller aufeinanderfolgenden RR-Intervalle (Gesamtvariabilität) [ms] |
| sog. | so genannt(-e, -er, -es) |
| t | t-Wert |
| Tab. | Tabelle |
| TT | Tiertechnikum |
| u.a. | und andere(-s), unter anderem, unter anderen |
| usw. | und so weiter |
| VLF | (engl.) very low frequency (VLF-)band im Powerspektrum einer Fast Fourier Analyse der RR-Intervalle (Frequenzanalyse) |
| VLF-Bande | ≤ 0,04 Hz bei Ferkeln |
| vs. | (lat.) versus = (dt.) gegen |
| z.B. | zum Beispiel |
| z.T. | zum Teil |
| °C | Grad Celsius |

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Motivation

Die Nutztierhaltung ist in Deutschland ein wichtiger Wirtschaftszweig. Die Schweinehaltung mit 28,1 Millionen Schweinen (Quelle: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Stand: 2014) ist neben der Rinderhaltung der bedeutendste Zweig der Veredelungswirtschaft in der deutschen Landwirtschaft und laut der Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH (Stand: 08.04.2014) kostet ein Kilo Schweinefleisch auf dem deutschen Markt 1,59 Euro. Doch nicht mehr nur der Preis ist wichtig, artgerechte Haltung, Tiergesundheit und Wohlbefinden der Nutztiere rücken immer mehr in den Vordergrund der Verbraucherinteressen (Hemsworth, 2007; Napolitano et al., 2010). Darüber hinaus fordert die aktuelle Tierschutzgesetzgebung in Deutschland (TierSchG, 18.05.2006; TierSchuNutzV, 28.07.2014) den generellen Schutz des Wohlbefindens von Tieren sowie verhaltensgerechte Haltung mit der Möglichkeit, Beschäftigungs- und Erkundungsverhalten ausführen zu können. Dementsprechend ist in der Forschung eine Zunahme von Studien zu verzeichnen, die das Wohlbefinden von Tieren in den Mittelpunkt stellen. Dabei spielt die tierseitige subjektive Bewertung von Haltungssystemen besonders in der Nutztierhaltung eine immer größere Rolle. Denn verschiedene Situationen werden von den Tieren auch emotional unterschiedlich bewertet (Desire et al., 2004; Desire et al., 2006; Greiveldinger et al., 2007). Über diese emotionale Bewertung aus Sicht der Tiere, welche sich in physiologischen und ethologischen emotionalen Reaktionen äußert, ist noch nicht viel bekannt. Sie bedürfen noch genauerer Untersuchungen, da es insgesamt schwierig ist, die Emotionalität von Tieren zu erfassen. Daher ist die Zuverlässigkeit und Aussagefähigkeit von indirekten Parametern zunehmend nachgefragt (von Borell et al., 2007; Boissy et al., 2007b).

Mit dieser Arbeit wollten wir auf früheren Studien (Ernst et al., 2005; Zebunke et al., 2011) aufbauen. Dabei handelte es sich um aktiv antizipierende Schweine, die durch operantes Verhalten die Kontrolle über ihre Belohnung hatten, was sich positiv auf ihr Wohlbefinden auswirkte (Manteuffel et al., 2009b). Ob die Verbesserung des Wohlbefindens sich aber aus der aktiven Kontrolle der Umwelt, aus der Antizipation der positiven Belohnung oder aus der Kombination von beiden ergab, konnte nicht differenziert werden. Unser Ziel war es deshalb die Antizipationskomponente auf positive und negative Reizungen getrennt von der Handlungskomponente zu betrachten (passiv antizipierende Tiere).

1.2 Wohlbefinden

1.2.1 Allgemein

Das Wohlbefinden von Schweinen in Intensivhaltung gelangte in den letzten Jahren in zunehmendem Maße in das Bewusstsein des Verbrauchers und den Fokus des wissenschaftlichen Interesses (Korte et al., 2007).

In der Literatur gibt es verschiedene Definitionen des Begriffs Wohlbefinden, es bedeutet nicht nur die Abwesenheit von Schmerzen oder Leiden. Kurz ausgedrückt ist Wohlbefinden die Befähigung eines Individuums, seine Umwelt zu bewältigen und das Ergebnis auf emotionaler Ebene positiv zu bewerten (Broom, 1991). Grundvoraussetzung für die Fähigkeit Befinden wahrzunehmen ist das Bewusstsein,

wobei dies nicht nur dem Menschen, sondern den plazentalen Säugetieren als taxonomische Gruppe insgesamt zugesprochen wird (Manteuffel und Puppe, 1997). Dieses benötigte bewusste Erleben impliziert aber nicht notwendigerweise ein Selbstbewusstsein (Paul et al., 2005). Mittlerweile sind laut Artikel 13 des Amtsblattes der Europäischen Union „alle Tiere der Landwirtschaft, Fischerei, Verkehr, Binnenmarkt, Forschung, technologischen Entwicklung und Raumfahrt“ als „fühlende Lebewesen“ deklariert und die Mitgliedstaaten der Europäischen Union haben den „Erfordernissen des Wohlergehens der Tiere“ Rechnung zu tragen (Amtsblatt der Europäischen Union, C 83, S. 54, 30. März 2010).

Wohlbefinden stellt das Individuum, seine Wahrnehmungen, Situationsdefinitionen, kognitive Bewertung und Gefühlszustände in den Vordergrund und umfasst die Möglichkeit Erfahrungen zu machen, die mit positiven emotionalen Zuständen verknüpft sind (Boissy et al., 2007b; Yeates und Main, 2008). Damit ist Wohlbefinden ein subjektiver Zustand, der sowohl aus komplexen, kognitiven Prozessen als auch emotionalen Wahrnehmungs- und Bewertungsmechanismen resultiert (Desire et al., 2002; Mendl und Paul, 2004). Die Möglichkeit der Ausübung von ethologischen Bedürfnissen (Hughes und Duncan, 1988; Jensen und Toates, 1993; Studnitz et al., 2007) spielt für das Wohlbefinden ebenso eine Rolle wie Situationskontrolle, Vorhersehbarkeit von Ereignissen und erfolgreiche Bewältigung von Herausforderungen (Bassett und Buchanan-Smith, 2007; Puppe, 2003). Dies zeigt, wie komplex und vielseitig das Thema ist, welches allgemein als „Wohlbefinden“ bezeichnet wird. Zusammenfassend wird in dieser Arbeit Wohlbefinden als Zustand physischer und psychischer Gesundheit definiert, der sich – vor dem Hintergrund individueller, auch kognitiver Ansprüche und Fähigkeiten – aus dem Prozess der ethologischen und physiologischen Adaptation bei der Bewältigung von Herausforderungen durch die Umwelt und den dabei gemachten subjektiven Erfahrungen und emotionalen Bewertungen ergibt (Puppe et al., 2012).

1.2.1 Stress, Homöostase und das Prinzip der Allostase

Das Verständnis von Wohlbefinden steht dabei immer im Zusammenhang mit dem Konzept von Stress (Veissier und Boissy, 2007). Der Begriff Stress wurde als erstes von Hans Selye als unspezifische Antwort des Organismus auf Herausforderungen der Umwelt definiert (Selye, 1936). Es wird eine Stressreaktion ausgelöst, um bedrohliche und belastende Situationen zu meistern. Stress kann sowohl negativer (Disstress) als auch positiver (Eustress) Natur sein. Dabei lassen sich Stressoren nach Art, Intensität, Dauer und Häufigkeit einteilen. Es wird akuter und chronischer Stress unterschieden (Burchfield, 1979; Katz et al., 1981; Tuchscherer und Manteuffel, 2000). Eine akute Stressreaktion lässt sich durch eine kurzfristige Änderung des Istwertes vom Sollwert im inneren Milieu beschreiben, während bei chronischem Stress eine anhaltende Erhöhung des Istwertes für stressrelevante biologische Systeme auftritt.

Es folgten verschiedene Stressmodelle. Zwei der wichtigsten Konzepte sind das Homöostase- und das Allostase-Modell. Das Homöostase-Konzept beinhaltet die Konstanthaltung des inneren Milieus lebendiger Systeme gegen störende äußere Einflüsse (Cannon, 1932). Es geht von einem festen, internen Referenzwert für alle physiologischen Variablen eines Organismus aus und dass der Organismus bestrebt ist diesen aufrechtzuerhalten. Dabei werden ethologische Bedürfnisse, denen keine direkten physiologischen Ursachen zugrunde liegen (Hughes und Duncan, 1988; Jensen und Toates, 1993) und deren Nichterfüllung zu Langeweile, Stereotypen und

abnormen Verhaltensweisen führen kann (Swaisgood, 2007), nicht berücksichtigt. Nach dem Modell der Allostase (Stabilität durch Veränderung) sind die internen Referenzwerte variabel und werden den Umweltbedingungen und Anforderungen angepasst. Dieses Konzept sieht neben der Überforderung (durch z.B. starke Stressoren) der biologischen Kontrollsysteme auch in der Unterforderung eine Gefahr für das Wohlbefinden (Korte et al., 2007). Dies bedeutet, dass ein optimales Wohlbefinden bei mäßiger Beanspruchung durch die Umwelt und demzufolge einer breit angelegten regulatorischen Anpassungsfähigkeit des Organismus erreicht wird. Dabei sind Erfahrungen, Erinnerungen und Emotionen wichtige Faktoren für eine optimale Funktionsweise mit minimalen biologischen Kosten.

1.3 Affekt, Emotion, Stimmung bei Tieren

1.3.1 Allgemein

Unter Befindlichkeiten werden affektbedingte Emotionen, Empfindungen, Gefühle und Stimmungen verstanden. Affekt und Emotion sind zwei Begriffe, die in der Literatur oft synonym, teils aber auch uneinheitlich verwendet werden.

Der **Affekt** wird als sehr schnelle neurophysiologische Reaktion auf ein Ereignis angesehen, mit einer bestimmten Valenz zwischen positiv und negativ und einem gewissen Grad an Erregung (Posener et al., 2005; Yeates und Main, 2008). Diese neurophysiologische Reaktion findet subkortikal statt und ist daher unbewusst. Durch die enge Verknüpfung mit dem Stammhirn kann eine erste unbewusste ethologische und physiologische Reaktion verursacht werden. Diese neurophysiologischen Änderungen werden dann zusammen mit den sensorischen Wahrnehmungen des Ereignisses auf neokortikaler Ebene interpretiert. Die Interpretation führt zu einer entsprechenden Modulierung der laufenden physiologischen und ethologischen Reaktionen sowie zu einer subjektiven Wahrnehmung bzw. Empfindung. Dieses bewusste Erleben, welches wiederum nicht notwendigerweise ein Selbstbewusstsein impliziert (Paul et al., 2005), wird als Emotion bezeichnet. **Emotionen** sind kurz gefasst laut Schnall et al. (2010) spezielle, intensive und kurze Antworten auf Reize. Aus evolutionärer Sicht haben sich Emotionen als nutzbringend erwiesen, da sie in dem Sinne als Verstärker dienen, dass gelernt wird, Situationen zu vermeiden, die negative Emotionen hervorrufen bzw. gezielt Situationen aufzusuchen, die positive Emotionen erzeugen (Dawkins, 2000; Desire et al., 2002; Manteuffel et al., 2009a; Manteuffel et al., 2009b). Gestützt wird diese Annahme auch durch Vergleiche zwischen Tieren und dem gut untersuchten Menschen. Die Steuerung erfolgt über das limbische System, einem stammesgeschichtlich sehr alten Abschnitt des Gehirns, dessen Strukturen bei allen Säugetieren einschließlich des Menschen sehr ähnlich sind (MacLean und Kral, 1973). Viele emotionale Reaktionen und die damit zusammenhängenden psychologischen Prozesse verlaufen aufgrund dieser Übereinstimmung ähnlich wie beim Menschen, zum Teil identisch (Buchenauer, 1992; von Engelhardt und Breves, 2005; Buchholtz, 2006). Dementsprechend genauer werden Emotionen als intensive, reflektive Wahrnehmungen von Bewertungs- und Antriebszuständen mit (überwiegend) kurzfristigen affektiven Reaktionen definiert, die mit physiologischen und Verhaltensreaktionen sowie subjektiven Erfahrungen gekoppelt sind (Desire et al., 2002). Dabei werden Emotionen seit jüngerer Zeit zweidimensional in Valenz und Erregung (s. Abb. 1) eingeteilt (Mendl et al., 2010a). In dieser Arbeit wird (der Definition von Desire et al., 2002 folgend) unter dem Begriff

Emotion ein affektiv-emotionaler Zustand, der sich zweidimensional beschreiben lässt, verstanden. Des Weiteren können regelmäßig sich wiederholende negative oder positive affektiv-emotionale Erfahrungen in anhaltenden Veränderungen der Stimmung resultieren (Harding et al., 2004; Paul et al., 2005; Dudink et al., 2006; Boissy et al., 2007b; Matheson et al., 2008; Mendl et al., 2009).

Eine **Stimmung** hat eine geringere Intensität als eine Emotion, ist von längerer Dauer, ist insgesamt subjektiv (unklarer) und normalerweise nicht auf einen bestimmten Auslöser zurückführbar (Schnall, 2010). Auch können beide, Emotionen und Stimmungen, sich gegenseitig beeinflussen (Mendl et al., 2010a; Murphy et al., 2014). Dabei gibt es auch Übertragungen von Emotionen und Stimmungen zwischen verschiedenen Individuen (Murphy et al., 2014).

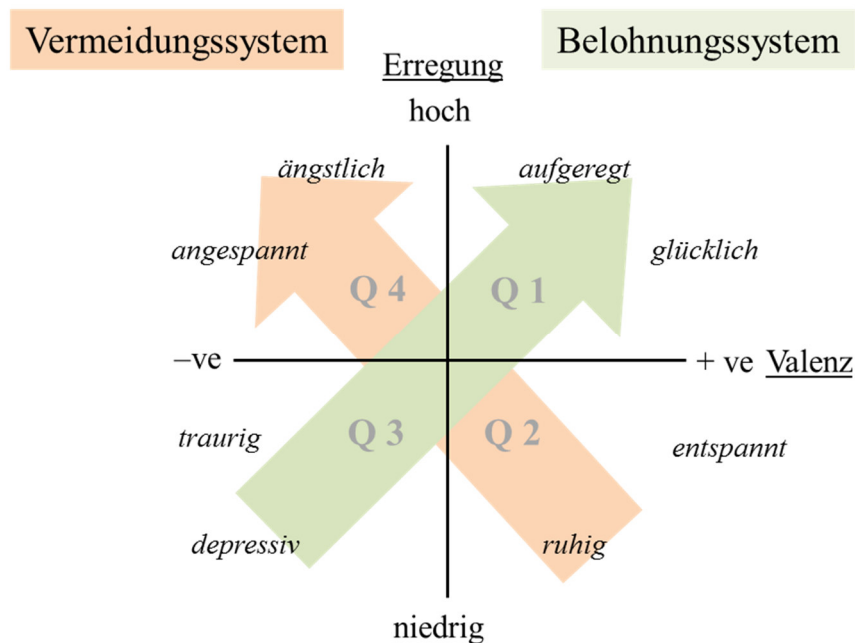


Abb. 1: Zweidimensionales Grundgerüst von affektiv-emotionalen Zuständen (modifiziert nach (Mendl et al., 2010a)). Kursiv geschriebene Begriffe stellen sogenannte Basisemotionen dar und befinden sich in einer subjektiven Position. Positive affektive Zustände liegen in den Quadranten Q 1 und Q 2, und negative affektive Zustände in den Quadranten Q 3 und Q 4. Der grüne Pfeil zeigt die Verknüpfung mit dem Belohnungssystem und der rote mit dem Vermeidungssystem.

1.3.2 Induzierung von Emotionen bei Schweinen

Der Nachweis von positiven Emotionen bei Tieren ist ein noch recht neues Forschungsfeld in der Wissenschaft (Boissy et al., 2007b; Yeates und Main, 2008). Es beruht auf dem grundsätzlichen Ansatz, dass wirkliches Wohlbefinden mehr ist als das Fehlen von negativen Zuständen, wie zum Beispiel Stress (Veissier und Boissy, 2007). Insgesamt hängt eine Stressantwort und damit Wohlbefinden nicht direkt von der Situation ab, sondern von der subjektiven Interpretation durch das Individuum (Duncan und Petherick, 1991; Desire et al., 2002). Dabei lassen sich positive und negative affektiv-emotionale Zustände durch das Einsetzen von entsprechenden positiven bzw. negativen Reizen auslösen (Boissy et al., 2007b). Was wiederum von den Tieren und speziell von Schweinen als positiv bzw. negativ bewertet wird, ist schwer festzustellen. Um positive Emotionen zu erfassen, sollten sie unter nicht belastenden Umständen und somit möglichst nicht-invasiv aufgenommen werden.

Dabei gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze für emotionale Reizungen, die von Schweinen als **positiv** eingestuft wurden. In Studien zur kognitiven Verzerrung (*cognitive bias*) wird die Fragestellung bearbeitet, ob Tiere ausgehend von ihren emotionalen Vorerfahrungen, gegenüber ambivalenten Reizen eine eher optimistische oder pessimistische Einstellung haben können (Mendl et al., 2009; Duepjan et al., 2013). Zum Beispiel wurden bei Schweinen unter anderem Versuche mit verschiedenen Haltungsumwelten durchgeführt und ihr Verhalten analysiert. Die Tiere mit angereicherter Haltungsumwelt waren grundsätzlich positiver gestimmt als Gruppen in reizarmer Umwelt (Douglas et al., 2012). Insgesamt werden in der Literatur oft Futterbelohnungen als Positivreiz beschrieben. Dabei variieren die Belohnungen, es gab Studien mit Popcorn (Imfeld-Mueller et al., 2011), Äpfeln (Douglas et al., 2012) und einer Mischung aus Haferflocken, Futter, Zucker und Wasser (Duepjan et al., 2013) als Futterbelohnung. Des Weiteren gibt es Studien, die das Schweinefutter an sich als Belohnung einsetzen (Ernst et al., 2005; Zebunke et al., 2011; Manteuffel et al., 2011; Kirchner et al., 2012).

Futter als positiven Reiz zu nutzen bietet sich an, da Futter selbst als essentielle Ressource biologisch relevant ist (Matthews und Ladewig, 1994; Day et al., 1995; Zebunke et al., 2011), Tiere in Gefangenschaft aber über dessen Verfügbarkeit nur wenig Kontrolle haben (Manteuffel et al., 2009a) und es meist nur restriktiv zur Verfügung steht. Zudem lässt sich bei Futter als positivem Reiz auch effektiv längerfristig die Gewöhnung (Habituation) an diesen verhindern bzw. verzögern (Tarou und Bashaw, 2007), da der Bedarf an Futter unelastisch ist. Es entsteht eine entsprechend hohe Motivation, welche nur durch die Futteraufnahme befriedigt werden kann (Spruijt et al., 2001; Zebunke et al., 2011). Spruijt et al. (2001) sehen in der Reduzierung der Differenz zwischen dem aktuellen Zustand (Hunger) zur Sättigung insgesamt schon eine Quelle von positiven Emotionen.

Dabei lässt sich allgemein die Futteraufnahme in zwei Phasen einteilen: erstens die Futtersuche (Antizipation bzw. Futtererwartung), welche eine Mobilisierung des Organismus für zielorientiertes, motiviertes Verhalten erfordert (Porges, 1995a; Burgdorf und Panksepp, 2006). Dabei ist das Dopaminsystem aktiv, welches das „Wollen“ steuert. Der zweite Teil ist die direkte Nahrungsaufnahme, die Konsumphase, bei der das Opioid-System aktiv ist, welches dem Ereignis einen emotionalen Wert gibt: das „Mögen“ oder „Nicht-Mögen“, also eine positive oder negative Valenz (Burgdorf und Panksepp, 2006).

Bekannte **negative emotionale Reizungen** bei Schweinen lassen sich in starke und milde aversive Reize einteilen. Stark aversive Reizungen rufen meist Schmerz hervor wie z.B. Elektroschocks mittels Viehtreiber (Hemsworth und Barnett, 1991) oder auch Injektionen (Hemsworth et al., 1996) und, Fixierungen durch Nasenschlinge (Geverink et al., 2002). Mildere Aversivreize scheinen dagegen besser geeignet zu sein, um emotionale Reaktionen zu detektieren, weil die Tiere nach der Präsentation des Reizes weiter normales Verhalten ausüben können. In einer Studie mussten Schweine über eine steile Rampe gehen (Imfeld-Mueller et al., 2011), auch wurden ganz aktuell Vibrationen und Luftstöße als Negativreiz getestet (Manteuffel et al., 2014) oder eine Plastiktüte, die plötzlich vor beziehungsweise über dem Schwein geschwenkt wurde (Douglas et al., 2012).

1.3.3 Induzierung von Emotionen mit Hilfe der Antizipation

Eine weitere Möglichkeit der Induzierung von Emotionen und Stimmungen bietet der Einsatz der Antizipation im Versuchsdesign von wissenschaftlichen Studien.

Allgemein bezeichnet der Begriff Antizipation psychologisch gesehen das Vermögen, ein Ereignis bzw. sein Ausbleiben mit allen seinen Auswirkungen vorherzusehen (Weiss, 1971; Arthur, 1987; Wiepkema und Koolhaas, 1992). Mit der Antizipation gehen affektive Reaktionen einher (Bassett und Buchanan-Smith, 2007; Manteuffel et al., 2009b). Eine affektive Reaktion, die in einer emotionalen Antwort resultiert, kann durch eine Antizipation beruhend auf der Pavlovschen Konditionierung ausgelöst werden (Spruijt et al., 2001; Imfeld-Mueller et al., 2011). Dabei lernt ein Tier einen positiven oder negativen Reiz zu erwarten, nachdem ein neutraler Reiz (z.B. ein Tonsignal) wahrgenommen wurde. Die entstehende emotionale Antwort besteht aus Verhaltensveränderungen und auch immer physiologischen Änderungen (Burman et al., 2008). Demnach könnte die Antizipation an sich schon das Wohlbefinden beeinflussen, da sich das Tier auf ein kommendes Ereignis vorbereiten kann (Badia et al., 1979).

Bei Schweinen wurden schon einige Antizipationsuntersuchungen durchgeführt (Ernst et al., 2005; de Jonge et al., 2008a; Zebunke et al., 2013). Bei den genannten Studien handelte es sich um aktiv antizipierende Tiere, die durch operantes Verhalten (z.B. Betätigung eines Schalters) die Kontrolle über ihre Belohnung hatten, was sich nachweislich positiv auf ihr Wohlbefinden auswirkte (Sambrook und Buchanan-Smith, 1997; Manteuffel et al., 2009a; Manteuffel et al., 2009b). Diese besondere Art der Umwultanreicherung ermöglicht über die erfolgreiche, kognitive Bewältigung von Herausforderungen, also über Lern- und Erinnerungsmechanismen, die mit Belohnungen von hohem appetitivem Wert als Verstärker einhergehen, eine aktive Kontrolle und Vorhersehbarkeit der Umwelt (Meehan und Mench, 2007). Bei Antizipationsuntersuchungen bleibt nun die Frage offen, ob bei passiv antizipierenden Tieren ebensolche Einflüsse auf das Wohlbefinden zu detektieren sind. Dies gilt es wiederum, mit geeigneten Indikatoren festzustellen.

1.4 Indikatoren von emotionalen Zuständen und Stimmungen

1.4.1 Allgemein

Als Indikatoren werden sowohl physiologische als auch ethologische Parameter (Verhaltensparameter) herangezogen. Dabei lässt sich die Erfassung der Indikatoren am Tier in indirekt und direkt unterscheiden. Wobei es sinnvoller ist, emotionale Zustände und Stimmungen nicht-invasiv und somit indirekt zu erfassen, um nicht schon durch die Probennahme oder Messung das Tier zu beeinflussen.

Indirekte Methoden sind hier die neutrale, von außen praktizierte Verhaltensbeobachtung mittels Videokamera und die Aufnahme der Herzaktivität als physiologischer Indikator, durch externe Systeme. Die aus der Herzaktivität zu berechnende Herzfrequenz (HR) und Herzfrequenzvariabilität (HRV) sind vielversprechende physiologische Indikatoren, die im Zusammenhang mit affektiv-emotionalen Reaktionen verwendet werden (Beauchaine, 2001; Porges, 2003; Stiedl et al., 2009), und auch bereits in einigen Studien an landwirtschaftlichen Nutztieren angewendet wurden (von Borell et al., 2007; Boissy et al., 2007b; Reefmann et al., 2009a; Zebunke et al., 2011; Jaskulke und Manteuffel, 2011; Vitale et al., 2013).

Sowohl die Verhaltensbeobachtung, als auch die Analyse der Herzaktivität werden in ihren Einzelheiten nachfolgend noch genauer vorgestellt (s. Abb. 2; s. Abschnitte 1.4.2, 1.4.3).

Direkte Faktoren sind Indikatoren der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse (HPA-Achse), des sympathoadrenal-medullären Systems (SAM-Achse) oder andere endokrine Elemente wie Oxytocin (Paul et al., 2005; Mendl et al., 2009). Die Messung der HPA-Achsen-Aktivität ist ein Standardverfahren, um Stress und Wohlbefinden in der Nutztierhaltung zu analysieren. Die HPA-Achse wird bei Stress aktiviert, um unter anderem Energie für den Organismus bereitzustellen (Steigerung der Neoglucogenese durch Glucocorticoide), damit der auslösende Stressor bewältigt werden kann (Mormede et al., 2007). Die HPA-Achse zeichnet sich durch eine hohe Sensitivität aus. Meist wird die HPA-Achse durch akute aversive Reize aktiviert und reagiert in weniger als zehn Minuten mit einer Erhöhung des Corticosteroidgehalts im Blut. Dieser wird noch ca. über eine Stunde, nachdem der Reiz beendet wurde, aufrechterhalten (Veissier und Leneindre, 1988; Mormede et al., 2007). Wenn ein Stressor (chronisch) andauert, sinkt im Plasma der Cortisolgehalt nach der akuten Reiz-Antwort ab. Die SAM-Achse wird durch das autonome Nervensystem aktiviert, welches durch den Hirnstamm, den paraventriculären Nucleus des Hypothalamus (PVN) und das limbische System stimuliert wird. Das ANS reagiert unmittelbar auf externe und interne Reize. Besonders bei Angstreaktionen und dem darauffolgenden Kampf-Flucht-Verhalten wird der Sympathikus und somit die SAM-Achse aktiviert. Der Sympathikus bewirkt die Ausschüttung von Adrenalin aus dem Nebennierenmark und die Noradrenalin-Freisetzung aus sympathischen Nervenendigungen. Diese beiden Hormone gehören zu den Katecholaminen, welche wiederum gut in Blut- und Gewebeproben bestimmter Hirnareale nachweisbar sind (s. Abschnitt 2.2).

Über diese beiden Achsen, insbesondere über das Hormon Cortisol (als Immunregulator und Entzündungshemmer), ist das Immunsystem eng mit dem autonomen Nervensystem verknüpft. So werden die immunologischen Organe (Knochenmark, Lymphknoten, Milz und Thymus) durch Fasern des autonomen Nervensystems innerviert. Die Botenstoffe des Immunsystems wiederum können auch Fasern, die vom limbischen System zum Hypothalamus, Locus coeruleus und anderen Teilen des Hirnstamms führen, stimulieren und damit emotionale Reaktionen (Emotionen) unmittelbar beeinflussen (Tewes, 1999). Mit Hilfe der Antizipation (s. Abschnitt 1.3.3) können Emotionen und Stimmungen induziert, und mit den richtig gewählten Parametern erfasst werden (Abb. 2).

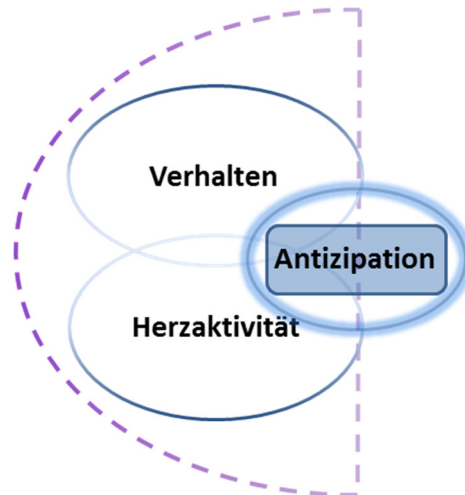


Abb. 2: Darstellung der untersuchten Parameter im Rahmen dieser Arbeit. Die Steuerung der emotionalen Reaktionen wird durch das limbische System über die HPA-Achse, durch das Immunsystem, sowie über die sympathoadrenomedulläre Achse und das periphere autonome Nervensystem und somit über die Herzschlagcharakteristik beeinflusst. In dieser Arbeit werden die Parameter aus den Bereichen Verhalten und Herzaktivität dargestellt. Die anderen eben genannten untersuchten Parameter werden in der Dissertation von Frau Jana Brietzke folgen.

1.4.2 Verhaltensparameter

Eine gern genutzte Methode zur Erfassung von emotionalen Zuständen und Stimmungen ist die Verhaltensbeobachtung. Eine emotionale Reaktion besteht aus einer physiologischen Änderung und einer Verhaltensänderung (Desire et al., 2002; Burman et al., 2008). Da sich Emotionen unter anderem entwickelt haben, um Gefahren zu vermeiden und Ressourcen zu finden, erlaubt die Verhaltenskomponente dem Tier auf den Reiz, der eine Emotion auslöste, aktiv zu reagieren. Daher geben Verhaltensbeobachtungen Hinweise auf die Valenz und die Intensität der zugrunde liegenden Emotion (Murphy et al., 2014).

Dabei sind bei Schweinen verschiedene Verhaltensweisen für die Valenz einer Reaktion bekannt. Ein wichtiger Indikator ist die Vokalisation der Tiere (Manteuffel et al., 2004), z.B. hochfrequente Quieker und Schreie bei Kastration oder Separation von der Mutter (Weary et al., 1998; Taylor et al., 2001; Marchant-Forde et al., 2003). Auch Spielverhalten (Dudink et al., 2006) und Vermeidungsverhalten, wie das vom Stressor Wegbewegen (Ruis et al., 2000; Moe et al., 2006; Imfeld-Mueller et al., 2011) geben Auskunft über die Valenz einer Reaktion. Ebenfalls kann die Reaktivität in Verhaltenstests (z.B. *open field*-Test, *novel object*-Test oder *human approach*-Test) überprüft werden (Puppe et al., 2007; Murphy et al., 2014).

1.4.3 Herzfrequenz (HR) und Herzfrequenzvariabilität (HRV)

1.4.3.1 Allgemeine Einführung: Entstehung des Herzschlags

Das Säugetierherz ist ein Hohlmuskel, welches mit rhythmischen Kontraktionen das Blut durch den Körper pumpt und so die Durchblutung aller Organe sichert. Die Hauptelemente des Reizbildungs- und Erregungsleitungssystems (RELS) ermöglichen eine autonome Arbeitsweise des Herzens. Das RELS gibt die Grundtaktfrequenz des Herzens (*engl.*: *intrinsic heart rate*) vor. Der wichtigste Schrittmacher

(Haupttaktgeber) des Herzens ist der Sinusknoten, genauer Sinuatrial-Knoten (SA-Knoten). Der SA-Knoten bestimmt die Frequenz, mit der das Herz schlägt. Die Atrien sind über den Atrioventrikularknoten (AV-Knoten, zweiter Schrittmacher) mit den Ventrikeln elektrisch verbunden. Der AV-Knoten befindet sich im Grenzbereich zwischen Atrium und Ventrikel. Durch die geringe Leitungsgeschwindigkeit des AV-Knotens kontrahieren zuerst die Atrien und dann die Ventrikel, so dass Blut ausreichend Zeit hat, aus den Atrien in die Ventrikel zu fließen.

Die elektrischen Ströme, die bei der synchronen Aktivität der Herzzellen entstehen, können als geringe Potentialänderungen am ganzen Körper abgegriffen werden. Diese stellen ein Spiegelbild der elektrischen Herzaktivität dar und werden als Elektrokardiogramm (EKG) abgebildet. Das EKG lässt sich leicht aufzeichnen und analysieren (Eckert et al., 2002). Die P-Welle stellt die Depolarisation des Atriums dar, der QRS-Komplex entspricht der Depolarisation des Ventrikels und die T-Welle repräsentiert die Repolarisation des Ventrikels (s. Abb. 3) (Eckert et al., 2002).

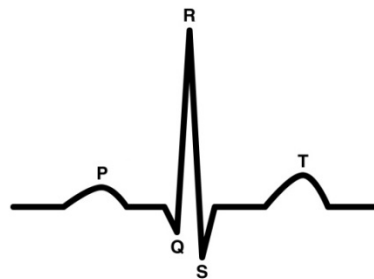


Abb. 3: Darstellung eines Herzschlages im Elektrokardiogramm. Bild: http://projects.htl-klu.at/Projekt_1213/pr5bhelb03/Internet/images/qrs.jpg, 04.02.2015

Bei neueren telemetrischen Messverfahren wird nur die Zeit in Millisekunden (ms), die zwischen den einzelnen R-Zacken liegt, gespeichert und nicht das gesamte EKG aufgezeichnet. Damit können Aussagen über die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität getroffen werden (s. Abb. 4).

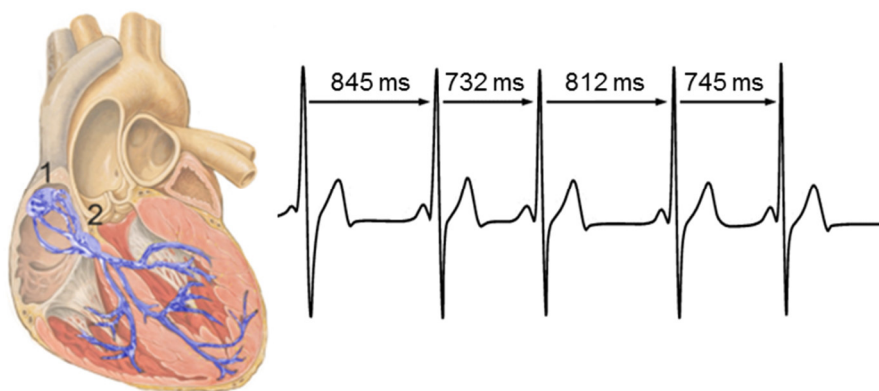


Abb. 4: Darstellung des Säugetierherzes mit Erregungsleitungssystem und des Herzschlages im Elektrokardiogramm mit Kennzeichnung der typischen Unregelmäßigkeit aufeinanderfolgender RR-Intervalle in ms (Herzfrequenzvariabilität). 1: Sinusknoten, 2: AV-Knoten; Modifiziert nach Hank van Helvete (2006) und „Herzbild“, <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/19686#Erregungsleitungssystem>, 01.09.2014

1.4.3.2 Regulation der Herzfrequenz

Die Aktivität des Herzens wird über das autonome Nervensystem (ANS), welches seine Ursprünge im Stammhirn hat (Langley, 1898; (Porges, 1995b; Thayer und Lane, 2009), reguliert. Die Herzfrequenz ist das Ergebnis der komplexen Interaktionen der beiden Teile des autonomen Nervensystems Sympathikus und Parasympathikus, wobei eine Aktivierung des Sympathikus zu einer Beschleunigung des Herzschlages und die Aktivierung des Parasympathikus zu einer Verlangsamung führt (Boissy et al., 2007a).

In der Medulla oblongata liegen zwei Zentren, aus denen die präganglionären Fasern des Parasympathikus entspringen. Von dem ersten Zentrum gehen schnell leitende B-Fasern ab, die die Erregung mit bis zu 30 m/s weiterleiten können. Langsamere C-Fasern (< 2 m/s) ziehen vom zweiten Zentrum aus bis zum Herzen. Dort laufen sie parallel mit den Blutgefäßen. Die postganglionären Neurone nutzen beim Parasympathikus Acetylcholin als Transmitter, welches auf muscarinerge Rezeptoren bei den Endorganen trifft. Der rechte Nervus vagus innerviert hauptsächlich den rechten Vorhof einschließlich des SA-Knotens (s. Abb. 4). Der Vagusnerv reduziert die Herzfrequenz durch eine Hemmung des Schrittmacherstroms, indem die Aktionspotentiale der Schrittmacherzellen und des Vorhofmyocards verkürzt werden (von Engelhardt und Breves, 2005). Der linke Nervus vagus dominiert die linksseitigen Areale der Vorhöfe und den AV-Knoten und führt durch eine erhöhte K^+ -Leitfähigkeit zur Verlängerung der atrioventrikulären Überleitung und somit zu einer Verminderung der Kontraktionskraft.

Allgemein senkt eine Stimulation der Vagusnerven die Herzfrequenz, so dass der Vagus auch als Schonungsnerv des Herzens bezeichnet wird. Auch kann der Parasympathikus den Sympathikus durch direkte Einwirkung hemmen. Die parasympathische Wirkung ist insgesamt spezifischer als die sympathische Wirkung, da die Ganglien der Vagusnerven sehr nah an den Zielorganen liegen. So reagiert der Sinusknoten fast unverzüglich, innerhalb von ein bis zwei Herzschlägen auf eine Stimulation des Parasympathikus (Porges, 2003). Diese schnelle Reaktion wird auch durch das Vorhandensein einer saltatorischen Erregungsleitung begünstigt (Hainsworth, 1995).

Im Gegensatz zum Parasympathikus stellt beim Sympathikus Noradrenalin den Transmitter bei postganglionären Neuronen dar, weshalb α - und β -Rezeptoren auf den Endorganen zu finden sind. Der Sympathikus innerviert das gesamte Herz annähernd gleichmäßig. Dazu gehören der Sinusknoten, die Vorkammer- und Kammermuskulatur und die glatten Muskelzellen der Gefäße. Eine Erregung der sympathischen Nerven erhöht die Herzfrequenz durch Verkürzung des Aktionspotentials und der Kontraktionsdauer des Herzens und führt somit zu einer Verengung der Gefäße. Es findet eine deutliche Erhöhung des Gefäßtonus und daher des Blutdruckes und des Herzzeitvolumens statt (Eckert et al., 2002). Aber ein Anstieg der HR kann zusätzlich auch durch eine Reduktion der parasympathischen Aktivität hervorgerufen werden. Insgesamt reagiert das Herz langsamer auf eine sympathische Regulation als auf eine parasympathische. Dies geschieht aufgrund der unmyelinisierten Nervenfasern, die die Erregung von den paravertebralen Ganglien nahe dem zentralen Nervensystem zum Herzen leiten (von Engelhardt und Breves, 2005). Daher ist eine Verzögerung von bis zu fünf Sekunden möglich, bevor das Herz innerviert wird, und die maximale Reaktion nach progressivem Anstieg wird erst nach 20 bis 30 Sekunden erreicht (Malliani et al., 1994; Hainsworth, 1995).

Der Sympathikus reagiert vorrangig auf Anforderungen, die durch die externe Umwelt gestellt werden und die aktives Verhalten erfordern. Da sich die externen und internen Bedingungen eines Individuums mit jedem Augenblick mehr oder weniger stark verändern, reguliert das autonome Nervensystem permanent und adaptiv die Aktivität interner physiologischer Prozesse. Daher variiert auch die Herzfrequenz mit jedem Herzschlag, was zum Konzept der Herzfrequenzvariabilität führte (Camm et al., 1996) (s. Abb. 4).

1.4.3.3 Grundlagen zur Herzfrequenzvariabilität

Die Herzfrequenzvariabilität bezeichnet die für den gesunden Organismus typische Unregelmäßigkeit aufeinanderfolgender RR-Intervalle (Hansen, 1999). Diese Variabilität entsteht durch rhythmische Oszillationen der Steuerungskomponenten des Herzschlages. Die HRV ist für die Aufrechterhaltung der kardiovaskulären Homöostase innerhalb bestimmter Grenzen und auch für die Reaktion des Systems auf interne und externe Veränderungen wichtig. Das zentrale Nervensystem ist mit seinen Arealen (besonders der *Formatio reticularis* der *Medulla oblongata*, des Hypothalamus, neocorticaler und paläocorticaler Areale) maßgeblich an der Regulation des kardiovaskulären Systems beteiligt. Die aufeinanderfolgenden RR-Intervalle werden über der Zeit aufgetragen und ergeben eine oszillierende Kurve. Diese kann als Tachogramm dargestellt werden. Die Tachogrammkurve symbolisiert idealisiert die Aktivitätsschwankungen unterschiedlicher Frequenz von Parasympathikus und Sympathikus, wobei die Frequenz des Vagus höher ist als die des Sympathikus. Die Fluktuationen im Vagustonus sind mit Aktivitätsschwankungen der vagalen Nuklei verbunden. Diese werden durch Stimulation der Barorezeptoren beeinflusst. Dabei schwankt die vagale Empfindlichkeit für den Barorezeptorinput sinusal mit dem Atemzyklus (Eckberg, 1991). Dies bedeutet, dass Atemparameter (Frequenz und Tiefe) hochgradig die Herzfrequenz und HRV beeinflussen (Billman, 2011). Es kommt zu einer inspiratorischen Zu- und einer expiratorischen Abnahme der Herzfrequenz, was als respiratorische Sinusarrhythmie (RSA) bezeichnet wird. Ein Grund für die RSA liegt in einer Kopplung zwischen dem Atemzentrum und dem Kreislaufzentrum des Hirnstamms. Es besteht eine inspiratorische Hemmung und expiratorische Aktivierung des Parasympathikus, der Sympathikus verhält sich umgekehrt.

In der Wissenschaft wurde die HRV erstmals in den 1960er Jahren als diagnostisch interessantes Phänomen dargestellt (Hon und Lee, 1963) und gewann in der Humanmedizin in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung. Bei der Messung der HRV und der HR sind laut Hansen (1999), deren biotische und abiotische Einflussfaktoren, wie z.B. die Haltungsumwelt (de Jong et al., 1998), Krankheiten (Camm et al., 1996), Individualität, die soziale Umwelt, der soziale Status (Sgoifo et al., 1997; de Jong et al., 1998) und die interne Rhythmik (Eisermann, 1988) zu beachten. Die HRV-Messung ermöglichte aber prinzipiell eine genauere Annäherung an die funktionale Charakteristik des autonomen Nervensystems als die HR-Messung.

1.4.3.4 Herzfrequenzvariabilität: Nutzung als Indikator für Wohlbefinden

Das autonome Nervensystem steht in reziproker Verbindung mit übergeordneten Hirnzentren, wie dem limbischen System, dem präfrontalen Kortex und dem Hypothalamus (Thayer und Lane, 2009). Dabei wird das limbische System als

Ursprungsort von Emotionen angesehen (Wiepkema und Koolhaas, 1992) und kann durch seine enge Verknüpfung mit dem autonomen Nervensystem die Aktivität des Herzens direkt beeinflussen.

Eine hohe Herzfrequenzvariabilität, bedingt durch einen hohen Vagus-Tonus, zeigt eine gute regulatorische Flexibilität und damit Anpassungsfähigkeit des Organismus an (Porges, 1995a; Friedman und Thayer, 1998; Thayer und Sternberg, 2006). Somit können HRV-Parameter, die den Vagustonuss abbilden, als quantifizierbare Parameter für das „Wohlergehen“ genutzt werden (Hansen und von Borell, 1999). Ein verringerter Vagus-Tonus hingegen, verursacht durch z. B. Disstress, führt zu einer Verschiebung der Balance im autonomen Nervensystem hin zu einer vorherrschend sympathischen Kontrolle, was die regulatorische Flexibilität einschränkt und eine Beanspruchung oder Belastung des Organismus anzeigt. Eine kurzfristige sympathische Dominanz hat adaptiven Charakter, während eine chronische Dominanz schädlich ist und zu Fehlregulationen wie z. B. Bluthochdruck, Diabetes, Entzündungen, etc. führt. Daher ist die Änderung der HRV besonders für die Indikation von Stressoren geeignet. Zum Beispiel in der Erwartung einer Belastungssituation ist ein Rückgang der Herzfrequenz zu beobachten (van Erp-van der Kooij et al., 2003). Diese Reaktion wird auch „orientierende Aufmerksamkeitsreaktion“ (*orientation attention response*) genannt, als Hinweis auf einen zu erwartenden Stressor (Obrist et al., 1987).

Seit ca. 15 Jahren wird die HRV auch in der Veterinärmedizin und in Verhaltenstests angewendet. Die Herzfrequenzvariabilität wird hier zunehmend eingesetzt, um Veränderungen im sympathovagalen Gleichgewicht bezogen auf unter anderem Stress, Krankheiten, Verhaltensauffälligkeiten, Temperament und den emotionalen Status zu untersuchen (de Jong et al., 1998; Mohr et al., 2001; Geverink et al., 2002; Kuwahara et al., 2004; von Borell et al., 2007). Da aber die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität nicht nur von Emotionen beeinflusst werden, sondern auch maßgeblich von physischer Aktivität (Brenner et al., 1998; Langbein et al., 2004; Jaskulke und Manteuffel, 2011) ist es laut von Borell et al. 2007 unbedingt erforderlich, neben der Herzaktivitätsmessung zusätzlich das Verhalten für die zuverlässige Interpretation der Ergebnisse zu erfassen.

1.4.3.5 Analysemethoden der Herzfrequenzvariabilität

Es gibt in der Literatur verschiedene Analysemethoden der Herzfrequenzvariabilität. Eine einfache Form zur Erfassung des Anteils von kurz- und langfristigen Schwankungen der Herzschlagfolge unter sympathischem und parasympathischem Einfluss ist die Zeitbereichsanalyse. Sie ist eine lineare Methode, die zur Erläuterung verschiedener Gesichtspunkte der statistischen Variabilität der RR-Datenreihe genutzt wird (Bauer, 2007).

Die Zeitbereichsanalyse umfasst Parameter, die sich anhand statistischer Methoden aus dem Tachogramm berechnen lassen (Kleiger et al., 1992). Aus dem Mittelwert der RR-Intervalle über einen bestimmten Zeitabschnitt (in dieser Arbeit fünf- Minuten-Intervall oder ein-Minuten-Intervall) kann die mittlere Herzfrequenz ($HR = \text{heart rate}$) berechnet werden (s. Abb. 4). Diese ist u.a. das Ergebnis des komplexen Wechselspiels zwischen Sympathikus und Vagus (Hainsworth, 1995). Die entsprechende Standardabweichung der RR-Intervalle bildet den SDNN-Wert ($SDNN = \text{standard deviation of NN}$ ($NN = \text{normal-to-normal}$, andere Bezeichnung für RR-Intervall); s. Abb. 4), welcher die kurz- und langfristige Schwankungen der RR-Intervalle erfasst

und sowohl auf eine Aktivierung des Vagus als auch auf eine Aktivierung des Sympathikus anspricht (Despres et al., 2002).

Der RMSSD-Wert (RMSSD=*root mean square of successive differences*) eines ausgewählten Zeitabschnitts (s. Abb. 4) erfasst nur die kurzfristigen Schwankungen der RR-Intervalle und spiegelt daher ausschließlich die Aktivität des Vagus wider (Boissy et al., 2007b).

Das Verhältnis RMSSD/SDNN reflektiert die vago-sympathische Balance im autonomen Nervensystem, dabei ist der Vagus das Bezugssystem (Langbein et al., 2004; Parameterübersicht in Tab. 1).

$$HR = \frac{60000}{\overline{RR}} \quad [bpm]$$

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (RR_i - RR_{i-1})^2} \quad [ms]$$

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (RR_i - \overline{RR})^2} \quad [ms]$$

Abb. 5: Formelgleichungen zu den Parametern HR, RMSSD und SDNN. RR = RR Intervalle; \overline{RR} = Mittelwert der RR-Intervalle.

Die Frequenzbereichsanalyse der HRV basiert auf der Periodizität vieler biologischer Systeme, d.h. ein biologisches Signal wiederholt sich innerhalb eines festgelegten Zeitraums und weist damit eine bestimmte Frequenz (Schwingung in ms) auf (Ferrière, 2008). Das komplexe Schwingungsmuster der HRV setzt sich aus dem Wechselspiel von Sympathikus und Vagus und rhythmischen Aktivitäten (Atmung, Blutdruck, thermale Regulation) zusammen (Sayers, 1973; Akselrod et al., 1985). Das Gesamtsignal der HRV besteht aus einer Vielzahl von Einzelfrequenzen und wird mittels spektralanalytischer Verfahren in seine Frequenzkomponenten zerlegt und in einem Leistungsdichtespektrum der Verteilung der Leistung bzw. Power (Varianz der RR-Intervalle in ms^2) als Funktion der Frequenz in Hertz (Hz, Schwingungen pro Sekunde) dargestellt. Die spektralanalytischen Schätzverfahren zur Ermittlung der Power werden allgemein als nicht-parametrisch oder parametrisch klassifiziert (Malik und Camm, 1995). Am häufigsten wird die nicht-parametrische Fast Fourier Transformation (FFT) angewendet (Cerrutti et al., 1995). Voraussetzung für eine Spektralanalyse sind, neben Artefaktfreiheit und konstanten Abständen einzelner Datenpunkte (Äquidistanz), eine Konstanz von Mittelwert und Varianz innerhalb der Zeitreihe (Stationarität), so dass die Daten zunächst resampled und artefakt- und trendbereinigt werden müssen (Horn, 2003) (s. 2.4.1). Um die Wahrscheinlichkeit stationärer Bedingungen zu erhöhen, sollte der Analysezeitraum zudem möglichst gering gehalten und die Frequenzanalyse bevorzugt bei EKG-Kurzzeitaufzeichnungen eingesetzt werden (Malik et al. 1995). Aus HRV-Kurzzeitaufzeichnungen werden üblicherweise die spektrale Gesamt-Power (*total power* $\leq 0,4$ Hz) sowie die Power für

drei Hauptfrequenzbereiche getrennt bestimmt. Diese reichen bei Ferkeln von der *very low frequency* (VLF-) Bande ($\leq 0,04$ Hz), über die *low frequency* (LF-) Bande (0,04 – 0,33 Hz) bis hin zur *high frequency* (HF-) Bande (0,33 – 0,83 Hz) (von Borell et al., 2007). Der Quotient aus LF und HF wird als LF/HF Ratio bezeichnet.

Insgesamt erlaubt die Frequenzanalyse der HRV eine quantitative Beurteilung parasymphischer (Pomeranz et al., 1985), weniger jedoch sympathischer Aktivität, da hier ein eindeutiger Parameter fehlt (Berntson et al., 1997). Die Angabe der Power erfolgt üblicherweise in absoluten Werten (ms^2). HF und LF können zusätzlich in relativen bzw. normalisierten Werten (*normalized units*, n.u.) angegeben werden (HF n.u. und LF n.u.), wie es in der Literatur oft üblich ist. Die Parameter HF n.u. und LF n.u. stellen den relativen Anteil von LF bzw. HF an der Gesamt-Power abzüglich der VLF dar. Die Angabe von HF n.u. und LF n.u. in Relation zur Gesamt-Power verdeutlicht das reziprok kontrollierte Verhalten beider Anteile des autonomen Nervensystems (Malliani et al., 1994; Camm et al., 1996). Zudem minimiert die Normalisierung die hohen interindividuellen Schwankungen der Gesamt-Power, was die Daten unterschiedlicher Individuen vergleichbar macht (Camm et al., 1996).

Die niederfrequenten Schwingungsanteile (LF) korrelieren mit dem SDNN-Wert der Zeitbereichsanalyse und spiegeln somit die gemeinsame Aktivität von Sympathikus und Vagus wider (Kuwahara et al., 1994). Die hochfrequenten Schwingungsanteile (HF) korrelieren dagegen mit dem RMSSD-Wert der Zeitbereichsanalyse und können daher der vagalen Aktivität zugeordnet werden (Pardo et al., 1996). Zusätzlich ist der HF-Parameter abhängig von der Atemfrequenz und -tiefe (Pagani et al., 1986; Yamamoto et al., 1991). Daher ist es wichtig, dass die Atemfrequenz innerhalb des gewählten HF-Frequenzbereichs liegt oder die Atmung zusätzlich erfasst wird. Mit dem Verhältnis LF/HF können wiederum Aussagen über die sympatho-vagale Balance im autonomen Nervensystem getroffen werden, wobei in diesem Fall der Sympathikus das Bezugssystem darstellt (Akselrod et al., 1981; Übersicht über die Parameter in Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht der HR und HRV-Parameter

| Abkürzung | Einheit/Merkmale | Aussage des Parameters |
|-----------------------------|------------------|--|
| <i>Zeitbereichsanalyse:</i> | | |
| HR | bpm | mittlere Anzahl Herzschläge pro Minute |
| RMSSD | ms | kurzfristige Schwankungen der vago-sympathischen Balance; Indikator für den Vagus |
| SDNN | ms | kurz- und langfristige Schwankungen der Herzschlagfolge unter parasymphischen und sympathischem Einfluss |
| RMSSD/SDNN | -- | übergreifender Indikator für die Änderung der vago-sympathischen Balance |

| Fortsetzung von Tab. 1: Übersicht der HR und HRV-Parameter | | |
|---|--|--|
| <i>Frequenzbereichsanalyse:</i> | | |
| VLF power in ms ² | Leistungsdichtespektrum von ≤ 0,04 Hz | hauptsächlich dominiert durch das sympathische Nervensystem |
| LF power in ms ² | Leistungsdichtespektrum von 0,04 bis 0,33 Hz | sympathisch und parasymphathischer Einfluss |
| HF power in ms ² | Leistungsdichtespektrum von 0,33 bis 0,83 Hz | hauptsächlich dominiert durch das parasymphathische Nervensystem |
| HF n.u. | normierte Einheit HF [n.u.] = HF [ms ²] / (total power [ms ²] - VLF [ms ²]) x 100 | hauptsächlich dominiert durch das parasymphathische Nervensystem |
| LF n.u. | normierte Einheit LF n.u. = LF [ms ²] / (total power [ms ²] - VLF [ms ²]) x 100 | sympathisch und parasymphathischer Einfluss |
| LF/HF | LF [ms ²] / HF [ms ²] | übergreifender Indikator für die Änderung der sympatho-vagalen Balance |

1.5 Fragestellung dieser Arbeit

Über die emotionale Bewertung von Handlungsmanagements aus der Sicht der Tiere ist noch nicht viel bekannt. Dabei ist es unter anderem schwierig, die Emotionalität der Tiere zu erfassen. Mit der vorliegenden Untersuchung wollten wir aufbauend auf früheren Studien zur Aufruffütterung (Ernst et al., 2005; Zebunke et al., 2011; Zebunke et al., 2013) die Antizipationskomponente auf positive (Futter) oder negative (Luftstoß) Reizungen getrennt von der Handlungskomponente betrachten. Hierbei handelte es sich somit um passiv antizipierende Tiere im Gegensatz zu den vorherigen Projekten mit aktiv antizipierenden Tieren (Handlungskomponente). Diese aktiv antizipierenden Tiere hatten durch operantes Verhalten die Kontrolle über ihre Belohnung, was sich nachweislich positiv auf ihr Wohlbefinden auswirkte (Manteuffel et al., 2009b). Ob die Verbesserung des Wohlbefindens sich aber aus der aktiven Kontrolle der Umwelt, aus der Antizipation der positiven Belohnung oder aus der Kombination von beiden ergab, konnte nicht differenziert werden. Aus dieser Problematik entwickelte sich folgende Fragestellung.

Reicht eine wiederholte passive Antizipation eines positiven oder negativen Reizes allein aus, um schon positiv bzw. negativ auf das Wohlbefinden der Tiere zu wirken?

Grund zu der Annahme, dass dies so ist, gaben Ergebnisse anderer Studien, in denen eine wiederholte Antizipation eines positiven oder negativen Stimulus zu einer dauerhaften Änderung der Stimmung führte (Harding et al., 2004; Paul et al., 2005; Dudink et al., 2006; Boissy et al., 2007b; Matheson et al., 2008; Mendl et al., 2009). Dabei war es mein Ziel, diese psychischen Komponenten mittels der gewählten Parameter, der Verhaltensbeobachtung und der Herzfrequenz- und Herzfrequenzvariabilität, zu erfassen.

2 Material & Methoden

2.1 Versuchstiere und Haltung

Für diese Studie dienten 97 weibliche und 5 männliche Ferkel (kastriert) der Deutschen Landrasse (*Sus scrofa domestica*) aus der Experimentalanlage Schwein (EAS) des FBN Dummerstorf in 17 Durchgängen als Versuchstiere. Die Durchgangsdauer betrug insgesamt 31 Tage. Pro Durchgang wurden 6 Vollgeschwister eingesetzt. Da nicht immer pro Wurf sechs weibliche Vollgeschwister existierten, wurde im Laufe der Versuchsdurchgänge mit Kastraten aufgefüllt, weil deren Verhalten sehr stark dem Verhalten der weiblichen Tiere ähnelt (Ford, 1983a; Ford, 1983b; Berry und Signoret, 1984). Die Ferkel wurden mit Ende der 4. Lebenswoche abgesetzt und wurden dann als Geschwistergruppe gehalten, um Rankkämpfe zu minimieren. Wasser und Futter (Ferkelstarter Plus, Trede und von Pein, Itzehoe, Deutschland) standen *ad libitum* zur Verfügung.

Mit Erreichen der 5. Lebenswoche fand der Wechsel der Schweine in den Versuchsraum (s. Abb. 6) im Tiertechnikum des FBN Dummerstorf statt. Im Versuchsraum konnte die Temperatur auf $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, die Luftfeuchtigkeit auf 50 % und das Licht von 06:00-18:00 Uhr festgelegt werden. Im Raum waren ein Lautsprecher und 4 Kameras (Industriekamera $\frac{1}{4}$ Zoll Colourchip, Panasonic Europe GmbH Wiesbaden, Deutschland) installiert. Die Kameras waren mit einem Videorekorder (Samsung SVR-960PRT) verbunden.

Die Versuchstiere wurden in 6 räumlich veränderbaren Einzelboxen (max. Größe $0,9\times 1,4$ m) gehalten, welche aber visuellen, akustischen und eingeschränkten taktilen Kontakt ermöglichten (s. Abb. 6). Die Schweine wurden in der Versuchszeit von 07:30-15:15 Uhr in ihrer Bewegung eingeschränkt, sodass die Tiere nur wenig Lokomotion, jedoch Liegen, Aufsetzen und Stehen zeigen konnten (s. Abb. 7). Die Einzelboxengröße konnte durch das Versetzen einer mobilen Seitenwand, sowie der mobilen Rückwand auf minimal $0,3\times 0,9$ m reduziert werden (s. Abb. 6) und wurde über den Versuchsverlauf an das Wachstum der Tiere angepasst. Die Bewegungseinschränkung während der Versuchszeit war notwendig, um einen Luftstoß (s. Abb. 7) genau zu applizieren und auch Herzfrequenzmessungen ohne den Einfluss von starken Bewegungseffekten erfassen zu können. Denn bei der Messung der Herzfrequenz besteht die Schwierigkeit, zwischen psychischer und physischer Aktivität zu unterscheiden.

Jede Einzelbox war mit einem elektronisch ansteuerbaren Futterautomaten (Mannebeck Landtechnik GmbH Schüttdorf, Deutschland) und einer Vorrichtung zur Applizierung des Luftstoßes versehen. Der Futterautomat gab Futterportionen von insgesamt $0,48$ kg/Tag/Tier am Anfang (5 Wochen alte Tiere) bis zu $0,96$ kg/Tag/Tier am Ende (10 Wochen alte Tiere) des Versuches aus. Zusätzlich erhielten die Tiere während der Versetzung der mobilen Wände zur Bewegungseinschränkung morgens eine Futterportion per Hand, um diesen Eingriff so ruhig wie möglich für die Tiere zu gestalten. Dieses Futterregime ermöglichte den Tieren, 100 % ihres theoretischen Futterbedarfes zu decken (berechnet nach Lindermayer et al. 1994). Wasser stand pro Einzelbox mittels Nippeltränke *ad libitum* zur Verfügung.

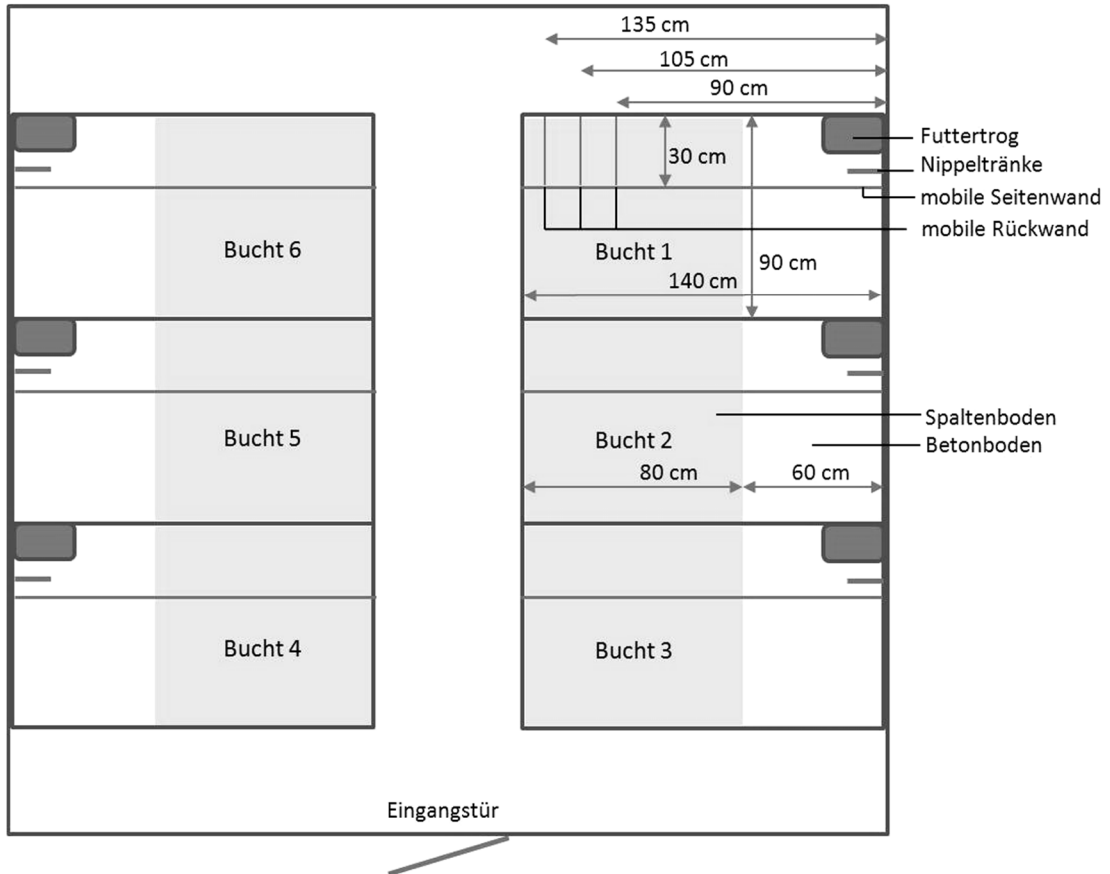


Abb. 6: Skizze des Versuchsraumes im Tiertechnikum des FBN Dummerstorf.

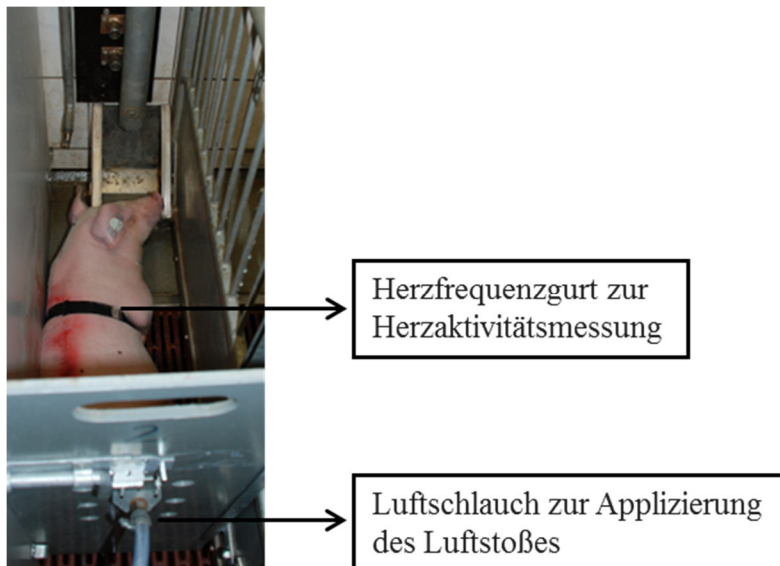


Abb. 7: In der Bewegung eingeschränktes Tier mit Herzfrequenzgurt. Die Bewegungseinschränkung war durch die linke und hintere mobile Wand möglich und an die individuelle Größe des Tieres anpassbar. In der hinteren mobilen Wand wurde zusätzlich der Luftschlauch angebracht.

2.2 Versuchsablauf und Behandlungen der Tiere

Jeder der 17 Durchgänge betrug 31 Tage (s. Tab. 2) und mit dem Wechsel der fünf Wochen alten Schweine in den Versuchsraum (s. Abb. 6) im Tiertechnikum des FBN Dummerstorf wurde Tag 0 der Versuchsdauer festgelegt. In den sechs vorherigen Tagen wurden erste Proben (Speichel, Blut) gesammelt (s. Abb. 8, Tab. 2). Die Tiere hatten somit vor Versuchsbeginn schon Kontakt zu den beteiligten Personen. Mit dem Umzug der Tiere in den Versuchsraum im Tiertechnikum mit Einzelhaltung (siehe 2.1) begann die Handlingphase. Innerhalb dieser Phase (Tag 0-6) erfolgte die Habituation der Tiere an ihre neue Umgebung und die experimentelle Prozedur (Bewegungseinschränkung, Herzfrequenzgurt anlegen und Fütterung durch die Futterautomaten).

Mit dem siebten Tag begann die Konditionierung der Tiere und somit die Messphase (Tag 7-30), in der die Verhaltensbeobachtungen, Speichelentnahmen und ein Großteil der Herzaktivitätsmessungen durchgeführt wurden (Tab 2). Am 31. Tag erfolgte die Tötung der Tiere mittels T-61-Injektion. Dabei handelt es sich um ein Kombinationspräparat mit 200 mg Embutramid, 50 mg Mebezonium und 5 mg Tetracain je ml. Anschließend wurde das Gewicht der Schweine bestimmt.

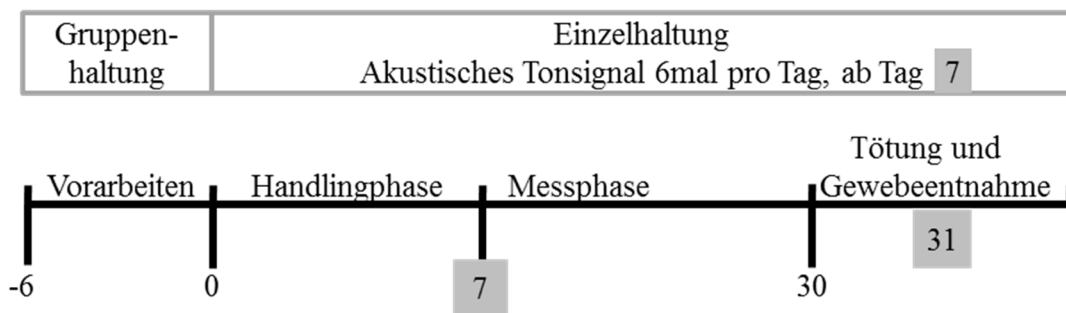


Abb. 8: Versuchsablauf pro Durchgang eingeteilt in Phasen.

Tab. 2: Übersicht des Versuchsablaufs aufgeschlüsselt nach Tagen und Prozeduren. Jeder Durchgang betrug 31 Tage und die Tiere befanden sich während dieser Zeit im Versuchsraum des Tiertechnikums. Während der sechs vorherigen Tage (gekennzeichnet durch das Minus Zeichen) waren die Schweine in der Experimentalanlage Schwein untergebracht und es wurden erste Proben gesammelt. *An diesen beiden Tagen wurde zusätzlich das Verhalten der Kontrollgruppe aufgezeichnet.

| VERSUCHSTAG | PROZEDUR |
|---|---|
| 0 | Umstallen ins Tiertechnikum |
| -4, 31 | Blutentnahme |
| -6, -5; 3, 4; 29, 30 | Speichelentnahme |
| 7, 11; 18, 21; 28, 30 (25, 29)* | Verhaltensaufnahme |
| 3, 4, 6; 28, 29, 30 | Basalherzfrequenz- und Basalherzfrequenzvariabilitätsaufnahme |
| 24, 25, 28, 29, 30 | Herzaktivitätsaufnahme |
| einmal pro Woche seit der Geburt und ab dem Einzug ins Tiertechnikum an den Tagen 4, 11, 18, 25, 31 | Körpergewichtsmessung |
| 31 | Tötung und Gewebeentnahme |

2.3 Konditionierung der Tiere

Alle sechs Versuchstiere pro Durchgang hörten in der Messphase (Abb. 8) pro Versuchstag dreimal vormittags (zwischen 07:30 Uhr und 10:30 Uhr) und dreimal nachmittags (zwischen 12:00 Uhr und 15:00 Uhr) zu randomisierten Zeitpunkten ein einminütiges Tonsignal. Die Zeitpunkte für den akustischen Reiz wurden automatisch durch einen Kontrollcomputer generiert, der ebenfalls die Futterausgabe steuerte. Das Einsetzen des akustischen Signals wurde durch eine Software überwacht, sodass stets mindestens 20 min zwischen den einzelnen Intervallen lagen. Um eine akustische Adaptation zu vermeiden, bestand es aus einem frequenz- und amplitudenmodulierten Sinuston (Grundlautstärke 82 dB, Grundfrequenz 800-1300 Hz, Amplitude + 3 dB). Dieses Signal lag sehr gut im Hörbereich von Schweinen (Heffner und Heffner, 1990). Unmittelbar nach (maximal 1 s) dem Ende des Tons erfolgte der Reiz (*trace conditioning*). Als positiver Reiz wurde Futter gewählt und als negativer Reiz ein Luftstoß mit 7,5 bar für 2 s nach dem Ton.

Drei der sechs Tiere wurden klassisch konditioniert (Abb. 9), die anderen drei Versuchstiere erhielten nicht-kontingente, tonunabhängige Reize (Abb. 10). Daraus ergaben sich bei den konditionierten Behandlungsgruppen insgesamt drei-Minuten-Messungen und bei den nicht-konditionierten Behandlungsgruppen dementsprechend zwei-Minuten-Messungen, da hier das Tonsignal nicht relevant war.

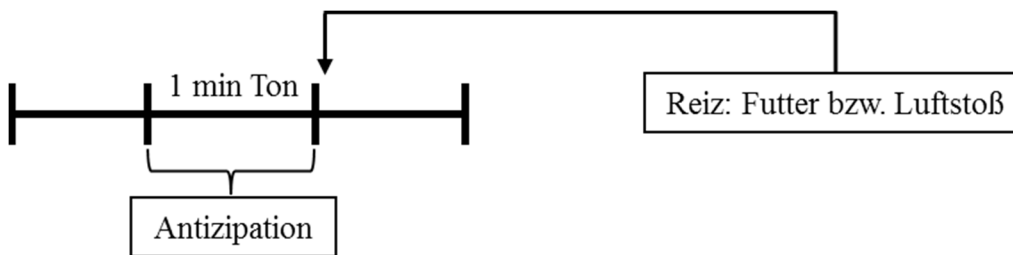


Abb. 9: Klassische Konditionierung der Behandlungen AF, AL und AKF/L. Die Antizipation des Reizes ist möglich. Es ergeben sich drei Messminuten, bestehend aus einer Minute vor dem Tonsignal, die Tonsignalminute und eine Minute nach dem Tonsignal.

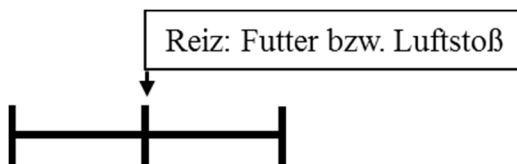


Abb. 10: Tonunabhängige Reizungen der Behandlungen RF, RL und FF. Die Antizipation des Reizes ist unmöglich. Es ergeben sich zwei Messminuten, bestehend aus einer Minute vor dem Reiz und einer Minute nach dem Futter- oder Luftstoßreiz.

Detaillierte Erklärung der unterschiedlichen Behandlungen:

Alle sechs Tiere im Versuchsraum, die jeweils eine unterschiedliche Behandlung bekamen, hörten sechsmal am Tag zu randomisierten Zeitpunkten das jeweils gleiche einminütige akustische Signal. Die Bedeutung des Signals ergibt sich individuell aus der Zuordnung zur Reizart.

- 1) Angekündigte Fütterung: **AF**: Fütterung sechsmal täglich 1/6 der Futterration nach dem akustischen Signal (**positives Signal**). Das Futter wurde mit maximal 1 s Verzögerung nach Tonende durch den Futterautomaten ausgegeben.
- 2) Angekündigter Luftstoß: **AL**: Luftstoß sechsmal 1 s nach dem akustischem Signal (**negatives Signal**). Die Fütterung (3x1/3) erfolgte zu festen Zeiten außerhalb der Versuchszeit (6:00 Uhr, 11:30 Uhr, 15:30 Uhr).
- 3) Angekündigte Konfliktsituation Fütterung oder Luftstoß: **AKF/L**: Zufällig jeweils dreimal Futter (je 1/3) und dreimal Luftstoß maximal 1 s nach dem akustischen Signal (**zweideutiges Signal**).
- 4) Randomisierte Fütterung: **RF**: Fütterung zufällig sechsmal täglich 1/6 der Futterration ohne Bezug zum akustischen Signal.
- 5) Randomisierter Luftstoß: **RL**: Luftstoß zufällig sechsmal täglich ohne Bezug zum akustischen Signal. Die Futtervergabe (3x1/3) erfolgte außerhalb der Versuchszeit (6:00 Uhr, 11:30 Uhr, 15:30 Uhr).
- 6) Feste Fütterung: **FF**: Fütterung der halben Tagesration zu zwei festen Zeiten (6:00 Uhr, 15:00 Uhr). Futter steht nicht im Bezug zum akustischen Signal (**Kontrolltier**).

Alle Tiere erhielten die gleiche Futtermenge pro Tag, jedoch in unterschiedlicher Zuordnung zum konditionierten Reiz und in verschiedenen Portionierungen.

2.4 Versuchsparameter

2.4.1 Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität

Die Messung der Herzaktivität erfolgte nicht-invasiv mit dem mobilen telemetrischen Gerätesystem POLAR-S810i von POLAR Elektro Oy (Kempele, Finnland), welches in der Nutztierforschung oft genutzt wird (Langbein et al., 2004; Marchant-Forde et al., 2004; Jaskulke und Manteuffel, 2011). Es wurde ursprünglich 1983 für die Sportmedizin entwickelt, und es konnte ihm mehrfach eine sehr hohe Messgenauigkeit attestiert werden (Laukkanen und Virtanen, 1998). Das System (s. Abb. 7) besteht aus einem Brustgurt (Polar WearLink) mit zwei integrierten Elektroden, einem Datentransmitter zur kabellosen Datenübertragung (via Funkverbindung) und einem Stopp-Uhr-ähnlichen Empfänger und Datenübertrager (via Infrarot) für die Speicherung auf einen Computer.

Dieses POLAR-System zeichnet die Abstände zwischen den einzelnen Herzschlägen (RR-Intervalle) auf und dabei kann es zu Messfehlern kommen, sogenannte Artefakte entstehen. Die Artefakte haben sowohl technische als auch physiologische Ursachen.

Auftreten können zum Beispiel fehlende Elektroden-Haut-Kontakte und Beeinflussungen durch Muskelaktions-potentiale. Auch kann es bei der direkten RR-Intervall-Aufzeichnung zu einer Fehleditierung kommen, bei der Intervalle zusammengefasst werden oder mehr Intervalle aufgezeichnet werden als wirklich vorhanden waren (Marchant-Forde et al., 2004). Diese Messfehler sind auf das POLAR-Gerät selbst zurückzuführen und können somit mit dem Korrekturalgorithmus der Software von POLAR (POLAR Precision Performance SW 3.1) unter visueller Kontrolle weitestgehend korrigiert werden. Dabei sollte die Fehlerquote 10 % nicht überschreiten (Langbein et al., 2003; Jaskulke und Manteuffel, 2011; Zebunke et al., 2011).

Über drei Tage (Handlingphase) wurden die jungen Schweine an die Messgurte adaptiert. Um den Hautkontakt der Elektroden zu verbessern, wurde zusätzlich ein Elektrodengel (Heiland VET Vertriebsgesellschaft mbH, Hamburg, Deutschland) aufgetragen. Die Empfangseinheit mit integriertem Datenspeicher wurde oberhalb der Tiere an der Futterautomatenstange befestigt. Der Datenspeicher hatte eine Kapazität von 16.000 Herzschlägen. Das System registrierte die RR-Intervalle und speicherte sie fortlaufend (Tachogramm). Aus diesen Daten konnten die Herzfrequenz und die Parameter für die Herzschlagvariabilität berechnet werden (s. 1.4.3). Die Analyse der Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität erfolgte nach zwei Methoden: der Zeitbereichs- und der Frequenzbereichsanalyse (s. 1.4.3.5). Die weitere Aufbereitung der RR-Daten sowie die anschließende Frequenzbereichsanalyse erfolgte mit der Software Kubios HRV der *Biosignal Analysis and Medical Imaging Group* der Universität Kuopio, Finnland, Version 2.1. Die Kubios HRV ist eine kostenlos zur Verfügung gestellte HRV-Analyse-Software, bei der die Analyse mit für den Nutzer transparenten Einstellungen erfolgt und den wissenschaftlichen Ansprüchen der Task Force („*Heart rate variability - Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use.*“) (Camm et al., 1996) genügt. Die RR-Daten wurden im Polar®.hrm (*heart rate monitor*)-Format in die Kubios HRV importiert und zunächst so aufbereitet, dass sie der Anwendung von Spektralanalysemethoden zugänglich waren. Diese gehen von einer äquidistant abgetasteten, weitestgehend artefaktfreien Zeitreihe mit einem Mindestmaß an Signalstationarität aus (Berntson et al., 1997). Anschließend wird aus dem ursprünglich unregelmäßig abgetasteten, diskreten RR-Intervall-Signal eine äquidistant abgetastete, kontinuierliche Zeitreihe konstruiert. Die Kubios HRV nutzt zur Darstellung der Zeitreihe als stetige Funktion eine stückweise Spline-Interpolation (*cubic spline interpolation*) mit einer empfohlenen Standard-Abtastrate von 4 Hz (Camm et al., 1996). Die Einstellungen waren wie folgt: Interpolations Rate=4 Hz; FFT spectrum options: window width=256 s (Standardeinstellung; der Algorithmus „schiebt“ ein Intervall-Fenster mit 256 s Breite durch den Datensatz) und window overlap=50 % (Standardeinstellung; es könnte sein, dass der Beginn eines Maximalwertes am Beginn eines Fensters liegt und dadurch nicht korrekt erfasst wird. Eine Überlappung der einzelnen Intervall-Fenster von 50 % verhindert diesen Fehler). Die Frequenzbereiche für die Frequenzbereichsanalyse wurden wie folgt eingestellt: VLF-Bande mit $\leq 0,04$ Hz, LF-Bande mit 0,04 – 0,33 Hz und HF-Bande mit 0,33 – 0,83 Hz (von Borell et al., 2007). Da es sich um Kurzzeit-Aufzeichnungen handelte, wurde die VLF als physiologisch kaum definierte und durch Trendbereinigung großen Schwankungen unterworfenen Messgröße (Camm et al., 1996) von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Sie wurde, wie auch die Gesamt-Power, nur zur Berechnung der normalisierten Einheiten von LF n.u. und HF n.u. herangezogen (s. Tab. 1).

Es sollten **kurz- und langfristige Änderungen der Herzaktivität** in Folge der verschiedenen Behandlungen detektiert werden.

Für die Erfassung der **kurzfristigen Herzreaktionen** auf die Behandlungen wurde die Herzaktivität an den letzten fünf Versuchstagen aufgenommen (s. Tab. 2). Diese Tage wurden gewählt um sicher zu gehen, dass die Tiere das Tonsignal mit dem nachfolgenden Reiz verknüpft hatten und sich eine Antizipation aus dieser erfolgreichen Verknüpfung bei den konditionierten Tieren ausgebildet hatte. Zusätzlich waren Herzfrequenzmessungen zu Beginn der Versuchsdurchgänge kaum auswertbar, da durch starke körperliche Reaktionen (z.B. vermehrte Fluchtversuche) die Daten nicht nutzbar waren, und bei intensiver Bewegung die Elektrodengurte verrutschten und dementsprechend sehr viele Fehler (weit über 10 %) auftraten.

Alle sechs Ereignisse pro Versuchstag der letzten fünf Versuchstage von jedem Durchgang flossen in die Auswertung mit ein. Dabei wurden die Parameter der Zeitbereichsanalyse (HR, SDNN, RMSSD, RMSSD/SDNN-Verhältnis) und die Parameter der Frequenzbereichsanalyse (HF n.u., LF n.u., LF/HF-Verhältnis) während des Tonsignals und während der Minuten um das Fütterungs- oder Negativreizeignis analysiert. Dies betraf bei den konditionierten Behandlungsgruppen drei Minuten und bei den nicht-konditionierten Behandlungsgruppen dementsprechend zwei Minuten (s. Abb. 9 und 10). Zusätzlich wurde eine Differenz gebildet zwischen der Minute vor dem Tonsignal und der Minute des Tonsignals um Veränderungen während der Antizipationszeit zu erfassen. Da Emotionen von kurzfristiger Natur sind, wurden für die Analysen Ein-Minuten-Intervalle gewählt, wie schon in verschiedenen Studien erfolgreich erprobt wurde (Despres et al., 2002; Braesicke et al., 2005; Desire et al., 2006; Duepjan et al., 2011; Imfeld-Mueller et al., 2011; Zebunke et al., 2011; Zebunke et al., 2013).

Eine Besonderheit bildet hier die FF-Gruppe, die gleichzeitig als Kontrollgruppe der anderen Behandlungsgruppen diente. Die Herzaktivität dieser Tiere wurde zu den Zeitpunkten aller 12 Ereignisse pro Versuchstag (sechs Ereignisse der konditionierten Gruppen und sechs Ereignisse der unkonditionierten Gruppen) und zusätzlich zum Zeitpunkt der eigenen Fütterung um 15:00 Uhr ausgewertet.

Darüber hinaus wurde untersucht, ob die Tiere der FF-Gruppe eine **langfristige Antizipation** auf diese festgelegte Fütterung ausbildeten. Dafür wurden die gewonnenen Herzaktivitätsdaten der letzten vier Versuchstage der ersten sieben Versuchsdurchgänge parallel zu den oben genannten Analysen in vier Zeitabschnitte (120 bis 90 min, 75 bis 45 min und 30 bis 0 min vor der 15:00 Uhr Fütterung und 0 bis 5 min nach der Fütterung) eingeteilt. Für die Zeitbereichsanalyse wurden störungsfreie fünf-Minuten-Intervalle ausgewählt, in denen die Tiere ruhten (Liegen auf der Seite oder dem Bauch) oder fraßen (s. letzter Zeitabschnitt).

Für die Erfassung der **langfristigen Änderungen der Herzaktivität** in Folge der unterschiedlichen Behandlungen wurde die **basale Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität** jedes Individuums vor Beginn der Konditionierung an drei Tagen (Versuchstage 3, 4, 6) in der 2. Woche und an den letzten drei Tagen (Versuchstage 28, 29, 30) des Versuches während der Mittagsruhezeit (10:30 bis 12:00 Uhr) erhoben. Um anhaltende Langzeiteffekte auf die Ruhfrequenz zu erfassen, wurden diese Basalwerte im Vergleich zwischen den Versuchsgruppen in Beziehung gesetzt. Es wurde sowohl die Zeitbereichsanalyse (SDNN, RMSSD, RMSSD/SDNN-Rate) als auch die Frequenzbereichsanalyse (HF, LF, LF/HF) angewendet. Zur

Analyse wurden störungsfreie fünf-Minuten-Intervalle ausgewählt, in denen die Tiere ruhten (Liegen auf der Seite oder dem Bauch).

2.4.2 Verhalten

Die digitalisierten Verhaltensaufnahmen der Versuchstiere von den Versuchstagen 7, 11, 18, 21, 28 und 30 wurden mit der Software Observer® XT 10.0 (Noldus Information Technology, Wageningen) analysiert. Es wurden die Verhaltensweisen „Liegen“, „Aufsetzen“, „Stehen“, „Fluchtversuch“, „Ausweichen“, „Zucken“, „Fressen“ und „Aktivität“ in Häufigkeit und Dauer erfasst (s. Tab. 3). Dabei wurden die Programmeinstellungen *mutually exclusive* (Verhaltensweisen einander ausschließend) und *state event* (Aufnahme der Dauer) gewählt.

Insgesamt gingen von sechs Ereignissen je Tag ein Vormittags- und ein Nachmittags-Ereignis in die Auswertung mit ein. Es wurde jeweils eine Minute vor dem Tonsignal, die Minute während des Tonsignals und eine Minute nach dem Tonsignal analysiert. Dementsprechend wurde bei den unangekündigten Reizungen je eine Minute vor Fütterung oder Luftstoß und eine Minute danach ausgewertet. Die FF-Gruppe, die gleichzeitig als Kontrollgruppe der anderen Behandlungsgruppen diente, wurde wieder zusätzlich bei allen Ereignissen der anderen Behandlungsgruppen ausgewertet. Um hinzukommend eine langfristige Antizipation der Fütterung dieser FF-Gruppe zu detektieren, wurde deren Verhalten in den ersten sieben Durchgängen eingehender untersucht. Dafür wurde die Dauer der Verhaltensweisen „Aktiv“ (jegliche Aktivität und das Stehen vor dem Trog), „Sitzen“ (Sitzen vor dem Trog) und „Liegen“ (Berührung des Bodens mit dem Bauch oder der Körperseite) an den letzten vier Versuchstagen innerhalb von drei Zeitabschnitten (120 bis 90 min, 75 bis 45 min und 30 bis 0 min; 0=Fütterung) in Bezug auf die kommende 15.00 Uhr-Fütterung erfasst.

Tab. 3: Ethogramm: Übersicht über die beobachteten Verhaltensweisen und eine kurze Beschreibung derselben.

| Verhalten | Definition |
|---------------|---|
| Liegen | keine aktive Fortbewegung, Berührung des Bodens mit dem Bauch oder der Körperseite |
| Stehen | keine aktive Fortbewegung, Stehen auf mindestens 3 Gliedmaßen, Bewegung einzelner Gliedmaßen möglich, beinhaltet nicht die Futteraufnahme |
| Aufsetzen | Aufsetzen aus der Bauchlage oder Absetzen aus dem Stehen (Sitzen auf dem Hinterteil, stehende Vorderbeine) |
| Fluchtversuch | Hochstellen an den Wänden |
| Ausweichen | Aufschrecken und jegliche Bewegung weg vom Reiz ohne Hochstellen an den Wänden |
| Zucken | reflexartiges Zusammenzucken |
| Fressen | Futteraufnahme |
| Aktivität | beinhaltet alle restlichen aktiven Verhaltensweisen, vor allem Exploration, Lokomotion und Trinken |

2.4.3 Körpergewicht

Das Gewicht aller im Versuch befindlichen Schweine wurde bis zum Versuchsbeginn in der 4. LW aus den Basisdaten der hauseigenen Schweinezucht des FBN übernommen. Mit Beginn des Versuches wurden die Schweine einmal wöchentlich gewogen. Es entstanden insgesamt 11 Messwerte beginnend mit dem Geburtsgewicht.

2.5 Datenauswertung/Statistik

2.5.1 Begriffsdefinitionen

Im folgenden Ergebnisteil werden verschiedene Begrifflichkeiten verwendet, die an dieser Stelle für eine bessere Verständlichkeit zusammenfasst sind.

Antizipation: Drei von sechs Behandlungsgruppen sollten eine Erwartungshaltung (Antizipation) aufgrund des Tonsignals, welches als Ankündigung eines darauffolgenden Reizes diente, herausbilden. Dabei war eine positiv antizipierende, eine negativ antizipierende und eine konflikthaltig antizipierende Behandlungsgruppe vorgesehen (s. 2.3).

Basalwert: Als Basalwerte wurden diejenigen physiologischen Parameterwerte bezeichnet, die aus Zeitabschnitten stammen, während derer die Tiere ungestört ruhten, d. h. physisch inaktiv waren.

Durchgang: Als Durchgang wurde ein kompletter Versuchsdurchlauf bezeichnet. Die Dauer betrug insgesamt 30 Versuchstage mit sechs Tieren und auch sechs verschiedenen Behandlungen. Der Versuchsdurchlauf wurde 17mal wiederholt mit 17 unterschiedlichen Tiergruppen.

Ereignis: Als Ereignis wurde allgemein die Futter- oder Luftstoßgabe bezeichnet, die bei den konditionierten Behandlungsgruppen nach dem Tonsignal und bei den nicht-konditionierten Behandlungsgruppen unvorhergesehen erfolgten.

Kontrolle: Als Kontrolle (bzw. FF-Gruppe) wurden die Tiere bezeichnet, die keiner emotionalen Reizung unterzogen wurden (s. 2.3).

Messminute/n: Als Messminuten wurden die Minuten vor, während und nach dem Tonsignal bzw. Ereignis der Futtergabe oder der Luftstoßgabe bezeichnet (Abkürzungen siehe Tabelle 4). Dies betraf bei den konditionierten Behandlungsgruppen insgesamt drei Minuten und bei den nicht-konditionierten Behandlungsgruppen dementsprechend zwei Minuten.

Tab. 4: Übersicht über die Abkürzungen der Messminuten.

| Messminuten | Abkürzung |
|--|--|
| Minute vor dem Ton bzw. Ereignis | Min-vor-Ton/E |
| Minute während des Tonsignals | Tonminute |
| Minute nach dem Tonsignal inklusive Futtergabe | Min-nach-Ton-Fg (also während des Fressaktes) |
| Minute nach dem Tonsignal inklusive Luftstoßgabe | Min-nach-Ton-Lg (also während des Luftstoßes und danach) |
| Minute nach dem Ereignis inklusive Futtergabe | Min-nach-E-Fg (also während des Fressaktes) |
| Minute nach dem Ereignis inklusive Luftstoßgabe | Min-nach-E-Lg (also während des Luftstoßes und danach) |

Versuchsabschnitt: Es gab zwei Versuchsabschnitte, zum einen der Abschnitt Versuchsbeginn (beinhaltete die Versuchstage 3, 4, 6) und zum anderen der Abschnitt Versuchsende (bestehend aus den Versuchstagen 28, 29, 30) eines jeden Durchgangs.

Wiederholung: Messungen, die über mehrere Versuchstage an dem gleichen Tier erfolgten.

Zeit: Die Versuchstage wurden in Vor- und Nachmittag unterteilt. Es fanden jeweils randomisiert drei Ereignisse pro Vor- und Nachmittag statt, um auch den circadianen Rhythmus der Tiere in dieser Studie mit zu berücksichtigen.

Zeitabschnitt: Als Zeitabschnitt wurden Intervalle rund um die Nachmittagsfütterung der FF-Gruppe bezeichnet. Es wurden drei Zeitabschnitte bis hin zur Fütterung (120 bis 90 min, 75 bis 45 min, 30 bis 0 min) und ein Zeitabschnitt während des Fressens der Tiere (0 bis 5 min) eingeteilt. (Futterausgabe=0)

2.5.2 Statistische Auswertung

Von 17 Durchgängen konnten grundsätzlich die Daten von 16 Versuchsdurchläufen in die Auswertung einbezogen werden, da der erste Durchgang als Vorversuch diente um Fehlerquellen zu minimieren und danach Änderungen stattfanden. Zusätzlich starb ein Versuchstier der Behandlungsgruppe AF aufgrund einer Krankheit, so dass insgesamt 95 Tiere in die Analyse gingen. Dementsprechend standen für alle anderen Behandlungsgruppen jeweils 16 Tiere zur Verfügung.

In Kooperation mit dem Institut für Genetik und Biometrie des Leibniz-Instituts für Nutztierbiologie (FBN) wurde die Auswertung der Daten mit dem Statistik-Programm SAS für Windows, Version 9.2 (SAS Institute Inc., 2009, Cary, NC, USA) durchgeführt. Deskriptive Statistiken und Tests auf Normalverteilung wurden mit der UNIVARIATE Prozedur der Base SAS Software kalkuliert. HR, Parameter der HRV, Parameter der Frequenzbereichsanalyse, Verhaltensbeobachtungen und die Daten der Gewichtsmessungen, die näherungsweise als normalverteilt (Kolmogorow-Smirnow-Test) angenommen werden konnten, wurden mittels *repeated measurement* ANOVAs mit der GLIMMIX Prozedur der SAS/STAT Software analysiert. Wiederholte

Messungen am Tier wurden dabei mittels *residual*-Option im *random statement* der GLIMMIX Prozedur und entsprechendes Setzen des Typs der blockdiagonalen Restkovarianzmatrix berücksichtigt. Die Modelle für die verschiedenen Parameter enthielten dabei folgende feste Faktoren:

1) Das Modell für die Berechnung der Zeitbereichs- und der Frequenzbereichsanalyse (individuelle Mittelwerte der 1-Minuten Messungen der letzten fünf Tage) schloss die festen Faktoren Durchgang, Versuchstag, Behandlung, Zeit, Messminute, Wiederholung und alle Wechselwirkungen bis zu Dreifach-Interaktionen mit ein. Dieses Modell wurde ebenfalls für die zusätzliche Zeitbereichsanalysenberechnung (individuelle Mittelwerte der 5-Minuten Messungen der letzten vier Tage) der FF-Gruppe verwendet. Es beinhaltete die festen Faktoren Durchgang, Zeitabschnitt (120 bis 90 min, 75 bis 45 min, 30 bis 0 min und 0 bis 5 min), Versuchstag, Wiederholung und die Zweifach-Interaktion der Faktoren Zeitabschnitt und Versuchstag.

2) Im Modell für die Berechnung der Zeitbereichs- und der Frequenzbereichsanalyse der Basalwerte aller Tiere gingen die Daten der individuellen Mittelwerte der 5-Minuten Messungen der ersten drei Versuchstage am Anfang und der letzten drei Versuchstage am Ende eines jeden Durchgangs während der Mittagsruhe ein. Es wurden die festen Faktoren Durchgang, Behandlung, Versuchsabschnitt, Wiederholung und alle Zweifach-Interaktionen gewählt.

Des Weiteren wurde eine Spearmans Rangkorrelation mit den Parametern der Zeitbereichsanalyse (RMSSD, SDNN, RMSSD/SDNN) und der Frequenzbereichsanalyse (HF n.u., HF power, LF n.u., LF power und LF/HF) durchgeführt.

3) Das Modell für die Verhaltensweisen (Dauer und Häufigkeit der Variablen Liegen, Aufsetzen, Stehen, Aktivität, Flucht, Ausweichen, Zucken, Fressen) beinhaltete die festen Faktoren Durchgang, Versuchstag, Behandlung, Messminute, Wiederholung und alle Wechselwirkungen bis zu Dreifach-Interaktionen. Zusätzlich wurde dieses Modell für die Analyse der Dauer der Verhaltensweisen (Aktiv, Sitzen und Liegen) der FF-Gruppe genutzt. Es wurden die festen Faktoren Durchgang, Zeitabschnitt (120 bis 90 min, 75 bis 45 min, 30 bis 0 min) und Versuchstag und alle Zweifach-Interaktion gewählt.

4) Die Daten von 11 Körpergewichtsmessungen pro Tier wurden für das Modell für die Gewichtsmessungen verwendet. Es wurden die festen Faktoren Durchgang, Behandlung und Lebenswoche (nur bei der Körpergewichtsmessung) festgelegt und alle Zweifach-Interaktionen gingen in die Berechnung mit ein.

Sämtliche Versuchsergebnisse werden im Folgenden in Form von *least square means* \pm *standard error* (LSM \pm SE) angegeben. Alle LSM der entsprechenden Stufen, die den Effekten der festen Faktoren in den oben beschriebenen vier Modellen entsprechen, wurden paarweise mittels Tukey-Kramer-Tests verglichen. Testergebnisse mit einem p-Wert $< 0,05$ werden als signifikant betrachtet. Die p-Werte der Varianzanalysen (F-Tests) und der multiplen Mittelwertvergleiche (Tukey-Kramer-Tests) werden angegeben mit †=p $< 0,1$; *=p $< 0,05$; **=p $< 0,01$ und ***=p $< 0,001$.

3 Ergebnisse

3.1 Übersicht

Bei der Darstellung der Ergebnisse werden im ersten Teil des Kapitels die Daten der Herzschlagaktivität der Versuchstiere präsentiert. Die Resultate sind in kurz- und langfristige Reaktionen eingeteilt. Die untersuchten Parameter (HR, RMSSD, SDNN, RMSSD/SDNN, HF n.u., LF n.u., LF/HF) der Behandlungsgruppen werden graphisch dargestellt und signifikante Einflüsse der Faktoren und signifikante Post-hoc Ergebnisse aus den Tukey-Kramer Tests kenntlich gemacht.

Im zweiten Teil des Kapitels werden die Verhaltensdaten dargestellt. Die verschiedenen Verhaltensweisen wurden in Dauer und Häufigkeit analysiert. Auch hier sind die Ergebnisse in kurz- und langfristige Reaktionen eingeteilt und werden in Tabellenform und graphisch präsentiert.

Im dritten Teil der Ergebnisdarstellung werden die Resultate der Gewichtsmessungen vorgestellt.

3.2 Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität

3.2.1 Kurzfristige Veränderungen (angekündigtes vs. unangekündigtes Ereignis)

Getestete Behandlungsgruppen: alle Behandlungsgruppen

Die akute physiologische Reaktion der Schweine wurde während der Minuten um das Fütterungs- oder Negativreizereignis analysiert (s. Abb. 9 und 10). Es sind alle Ergebnisse der Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität der Zeitbereichsanalyse in der folgenden Tabelle 5 dargestellt. (Die Ergebnisse der Frequenzbereichsanalyse sind im Anhang in Tabelle 14 zu finden.)

Tab. 5: Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität der Zeitbereichsanalyse. (Hervorgehobenes Ergebnis wird im Folgenden näher betrachtet.)

| Faktoren und Interaktionen | HR | RMSSD | SDNN | RMSSD/SDNN |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Durchgang | F=4,37; p<0,001 | F=3,89; p<0,001 | F=4,02; p<0,001 | F=3,47; p<0,001 |
| Versuchstag | F=94,10; p<0,001 | F=16,23; p<0,001 | F=22,76; p<0,001 | F=2,90; p<0,05 |
| Behandlung | F=5,72; p<0,001 | F=1,08; p=0,38 | F=2,66; p<0,05 | F=1,86; p=0,11 |
| Versuchstag×Behandlung | F=2,98; p<0,001 | F=1,55; p<0,1 | F=1,00; p=0,46 | F=1,09; p=0,35 |
| Zeit | F=116,79; p<0,001 | F=28,40; p<0,001 | F=2,23; p=0,14 | F=37,70; p<0,001 |
| Versuchstag×Zeit | F=0,89; p=0,47 | F=1,43; p=0,22 | F=1,90; p=0,11 | F=0,71; p=0,59 |
| Behandlung×Zeit | F=79,36; p<0,001 | F=19,48; p<0,001 | F=16,42; p<0,001 | F=5,19; p<0,001 |
| Versuchstag×Behandlung×Zeit | F=2,45; p<0,001 | F=1,01; p=0,45 | F=1,01; p=0,45 | F=0,92; p=0,57 |
| Messminute | F=93,08; p<0,001 | F=15,26; p<0,001 | F=17,95; p<0,001 | F=45,71; p<0,001 |
| Versuchstag×Messminute | F=1,17; p=0,27 | F=1,24; p=0,20 | F=1,19; p=0,25 | F=1,08; p=0,36 |
| Behandlung×Messminute | F=28,91; p<0,001 | F=6,27; p<0,001 | F=19,51; p<0,001 | F=8,62; p<0,001 |
| Versuchstag×Behandlung×Messminute | F=0,65; p=0,94 | F=0,76; p=0,83 | F=0,86; p=0,69 | F=1,03; p=0,42 |
| Zeit×Messminute | F=2,56; p<0,05 | F=0,75; p=0,58 | F=3,36; p<0,01 | F=1,72; p=0,13 |
| Versuchstag×Zeit×Messminute | F=0,52; p=0,95 | F=0,68; p=0,85 | F=0,93; p=0,55 | F=0,73; p=0,79 |
| Behandlung×Zeit×Messminute | F=2,69; p<0,01 | F=2,51; p<0,05 | F=1,93; p<0,05 | F=0,56; p=0,81 |

Als kurzfristige Reaktion hatten die Faktoren Durchgang, Versuchstag und Messminute einen signifikanten Einfluss auf alle Parameter der Zeitbereichsanalyse (HR, RMSSD, SDNN, RMSSD/SDNN). Der Faktor Zeit, welcher den circadianen Rhythmus der Tiere berücksichtigte, beeinflusste wesentlich die HR, die RMSSD und das RMSSD/SDNN-Verhältnis. Die unterschiedliche Behandlung der Tiere hatte einen signifikanten Einfluss auf die Parameter HR und SDNN.

Die Interaktion zwischen den Faktoren Versuchstag und Behandlung zeigte signifikante Unterschiede in der Herzfrequenz. Ebenso traten in der Dreifach-Interaktion mit dem zusätzlichen Faktor Zeit in der Herzfrequenz signifikante Unterschiede auf. Die Resultate der Interaktion Behandlung und Zeit wiesen bei allen Parametern der Zeitbereichsanalyse (HR, RMSSD, SDNN, RMSSD/SDNN) aussagekräftige Unterschiede auf. Die Zweifach-Interaktion der Faktoren Zeit und Messminute zeigte in der Herzfrequenz und der SDNN signifikante Unterschiede. In der sich mit dem zusätzlichen Faktor Behandlung ergebenden Dreifach-Interaktion, konnten ebenso signifikante Unterschiede bei den Parametern HR, RMSSD und

SDNN festgestellt werden. Nachfolgend wird die Interaktion zwischen Behandlung und Messminute detailliert betrachtet (s. Tab. 5).

HR: Die Resultate der Interaktion der Faktoren Behandlung und Messminuten lieferten, gemittelt über die verschiedenen Behandlungsgruppen in der Herzfrequenz signifikante Unterschiede ($F=28,91$; $p<0,001$). Ebenso konnten in den paarweisen Vergleichen innerhalb der einzelnen Behandlungsgruppen und Messminuten aussagekräftige Unterschiede festgestellt werden (Abb. 11; Auflistung der $LSM \pm SE$ mit t- und p-Werten siehe Anhang Tabelle 15).

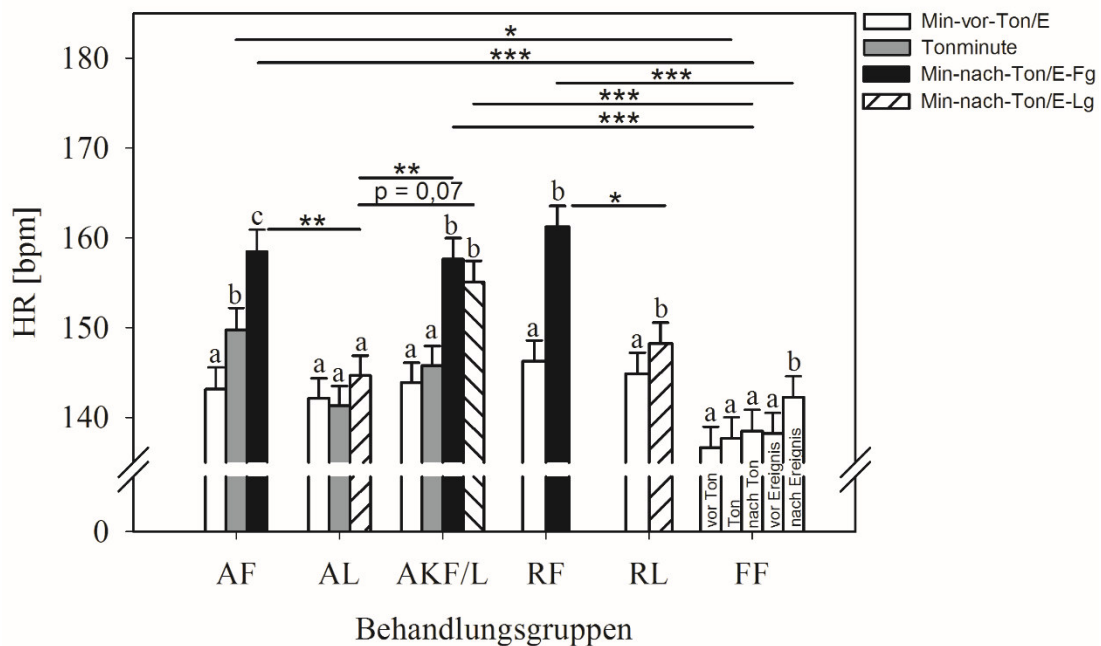


Abb. 11: Veränderung der Herzfrequenz (HR) der jeweiligen Behandlungsgruppe über die Messminuten. Minute vor dem Tonsignal (weiß), Tonsignalminute (grau), Minute nach dem Tonsignal inklusive Futtergabe (schwarz)/Luftstoßgabe (schwarz gestreift); Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Futtergabe, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Futtergabe/Luftstoß, RF: randomisierte Futtergabe, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Futtergabe (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen); Die Buchstaben a, b, c zeigen tendenzielle und signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen $*$ = $p<0,05$; $**$ = $p<0,01$ und $***$ = $p<0,001$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Innerhalb der Gruppe mit der angekündigten Futtergabe (AF) stieg die Herzfrequenz über die drei analysierten Minuten an. Dementsprechend erreichte die Herzfrequenz in der Minute nach dem Ton und bei erfolgter Futtergabe in dieser Gruppe ihren höchsten Wert. Obwohl die Gruppe mit der angekündigten Luftstoßgabe (AL) eine andere Behandlung erfuhr, zeigte diese wie die Kontrollgruppe (FF), keine Änderung der Herzfrequenz. Die Reaktion der Behandlungsgruppe AKF/L wies eine Erhöhung der HR von der Min-vor-Ton und der Tonminute jeweils zur Min-nach-Ton-Fg bzw. -Lg auf. Auch die Daten der RF-Gruppe zeigten einen Anstieg der Herzfrequenz von der Min-vor-E zur Min-nach-E-Fg an. Die unangekündigt negativ gereizten Tiere (RL) reagierten mit einer tendenziellen Erhöhung der HR auf den Luftstoß. Die Herzreaktion der Kontrollgruppe (FF) zeigt einen signifikanten Herzfrequenzanstieg

in den Messminuten Min-vor-E zur Min-nach-E der nicht konditionierten Gruppen (RF, RL).

Zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen konnten ebenfalls Unterschiede nachgewiesen werden. Die Ergebnisse zeigten, dass sich die Gruppen AF, AKF/L und RF in den Minuten nach dem Tonsignal bzw. Ereignis signifikant von den entsprechenden Messminuten der Kontrollgruppe FF unterschieden. Zusätzlich unterschied sich die Tonminute der AF-Gruppe deutlich von der Tonminute der FF-Gruppe. Allein die Gruppen die mit oder ohne Ankündigung einen Luftstoß, jedoch kein Futter erhielten (AL und RL), unterschieden sich in ihrer Herzfrequenzreaktion nicht von der Kontrollgruppe (FF).

Beim Vergleich zwischen den drei konditionierten Gruppen, wies die Min-nach-Ton-Lg der AKF/L-Gruppe eine tendenziell höhere Herzfrequenz auf, als die Min-nach-Ton-Lg der AL-Gruppe. Auch die Minuten nach dem Tonsignal mit erfolgter Fütterung der AF- und AKF/L-Gruppe zeigten eine eindeutig höhere Herzfrequenz, als die AL-Gruppe in der Min-nach-Ton-Lg. Beim Vergleich der zwei nicht konditionierten Gruppen unterschied sich die Min-nach-E-Fg der RF-Gruppe mit einer signifikant höheren HR von der Min-nach-E-Lg der RL-Gruppe.

RMSSD: Beim Herzfrequenzvariabilitätsparameter RMSSD zeigte sich eine signifikante Interaktion der Einflussfaktoren Behandlungsgruppe und Messminute ($F=6,27$; $p<0,001$). Auch konnten in den paarweisen Vergleichen zwischen und innerhalb der Behandlungsgruppen und Messminuten signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 12; Auflistung der $LSM \pm SE$ mit t- und p-Werten siehe Anhang Tabelle 16).

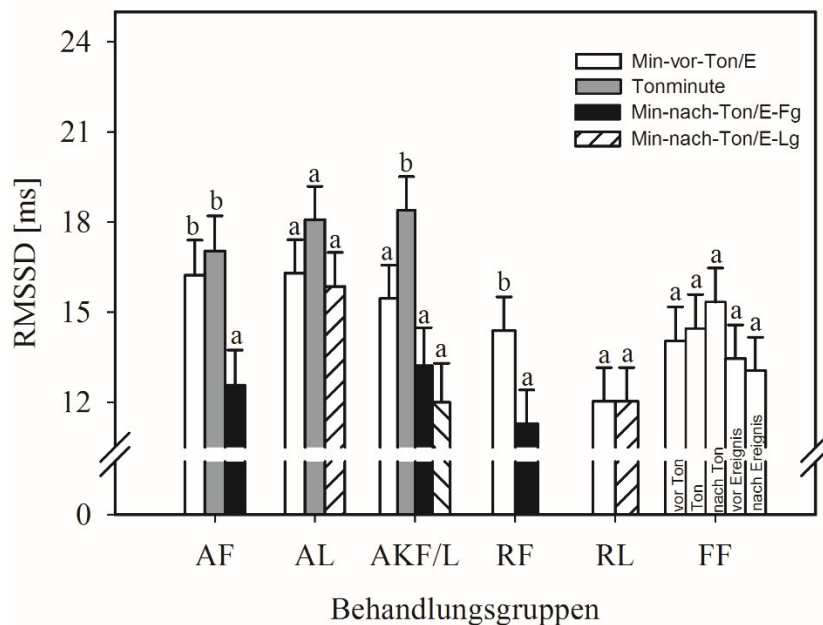


Abb. 12: Veränderung der RMSSD der jeweiligen Behandlungsgruppe über die Messminuten. Minute vor dem Tonsignal (weiß), Tonsignalminute (grau), Minute nach dem Tonsignal inklusive Futtergabe (schwarz)/Luftstoßgabe (schwarz gestreift); Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen); Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an.

Bei den Gruppen AF- und der AKF/L-Gruppe ist ein Absinken der RMSSD von der Tonsignalminute hin zur Minute nach dem Ton zu erkennen. Die parasympathische Aktivität sank. Aber die Reaktion der Behandlungsgruppe AKF/L zeigt zuvor einen Anstieg des RMSSD-Parameters von der Minute vor dem Tonsignal zur Tonminute. Es fand demnach eine parasympathische Aktivierung aufgrund des Tonsignals statt. Eine Reduzierung des parasympathischen Einflusses wiesen wiederum die AF- und die RF-Gruppe auf. Die Reaktion der beiden Gruppen war durch ein deutliches Absinken des RMSSD-Wertes und somit einer Parasympathikus Reduzierung von der Minute vor dem Ton/Ereignis zur Minute nach dem Ton/Ereignis gekennzeichnet.

SDNN: Beim Herzfrequenzvariabilitätsparameter SDNN konnte eine signifikante Interaktion der Einflussfaktoren Behandlung und Messminute ($F=19,51$; $p<0,001$) festgestellt werden. Ebenso wiesen paarweise Vergleichen zwischen und innerhalb der Behandlungsgruppen und Messminuten signifikante Unterschiede auf (Abb. 13; Auflistung der $LSM \pm SE$ mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 17).

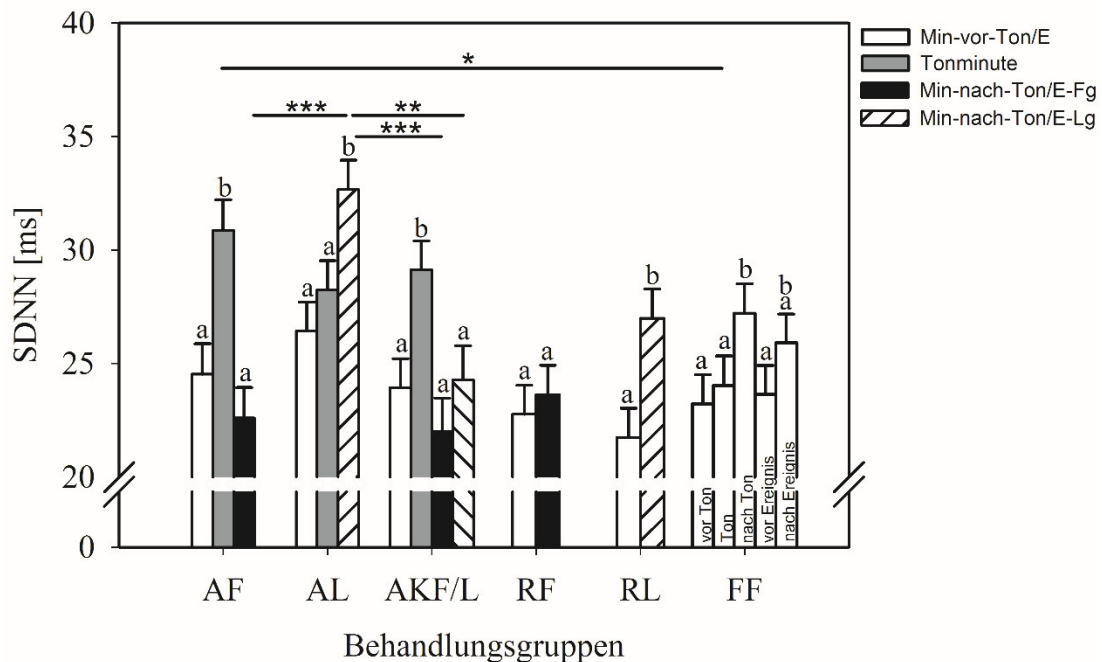


Abb. 13: Veränderung der SDNN der jeweiligen Behandlungsgruppe über die Messminuten. Minute vor dem Tonsignal (weiß), Tonsignalminute (grau), Minute nach dem Tonsignal inklusive Futtergabe (schwarz)/Luftstoßgabe (schwarz gestreift); Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen); Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen $*=p<0,05$; $**=p<0,01$ und $***=p<0,001$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Innerhalb der Behandlungsgruppe mit der angekündigten Futtergabe (AF) erreichte die SDNN in der Tonsignalminute ihren deutlich höchsten Wert, im Gegensatz zur Minute vor und nach dem Ton. Ein ähnliches Ergebnis zeigte die AKF/L-Gruppe, bei der ebenfalls die Reaktion auf den Ton durch einen deutlichen SDNN-Anstieg gekennzeichnet war. Nach der Tonsignalminute sank die SDNN in dieser Gruppe wieder signifikant ab, egal welcher Reiz erfolgte.

Bei der AL-Gruppe waren die SDNN-Werte der Min-vor-Ton, als auch der Tonminute deutlich kleiner als der SDNN-Wert der Min-nach-Ton-Lg. Mit einem signifikanten Anstieg der SDNN reagierte auch die RL-Gruppe auf die Luftstoßgabe.

Bei den Ergebnissen zwischen den Gruppen wiesen die Messminuten nach dem Tonsignal der AF- und AKF/L-Gruppe einen eindeutig kleineren SDNN-Wert im Unterschied zur Min-nach-Ton-Lg der AL-Gruppe auf.

Die Ergebnisse der Messminuten der konditionierten Behandlungsgruppen bei der Kontrollgruppe FF wiesen in den SDNN-Werten einen signifikanten Anstieg von der Min-vor-Ton und einen tendenziellen Anstieg von der Tonminute zur Min-nach-Ton auf. Auch unterschied sich die Tonminute der Kontrollgruppe signifikant von der Tonminute der AF-Gruppe, welche durch einen wesentlich höheren SDNN-Wert gekennzeichnet war.

RMSSD/SDNN: Die Resultate der Interaktion der Faktoren Behandlung und Messminuten lieferten in den verschiedenen Behandlungsgruppen in dem HRV-Parameter RMSSD/SDNN signifikante Unterschiede ($F=8,62$; $p<0,001$). Auch konnten in den paarweisen Vergleichen zwischen und innerhalb der einzelnen Behandlungsgruppen und Messminuten signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 14; Auflistung der $LSM \pm SE$ mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 18).

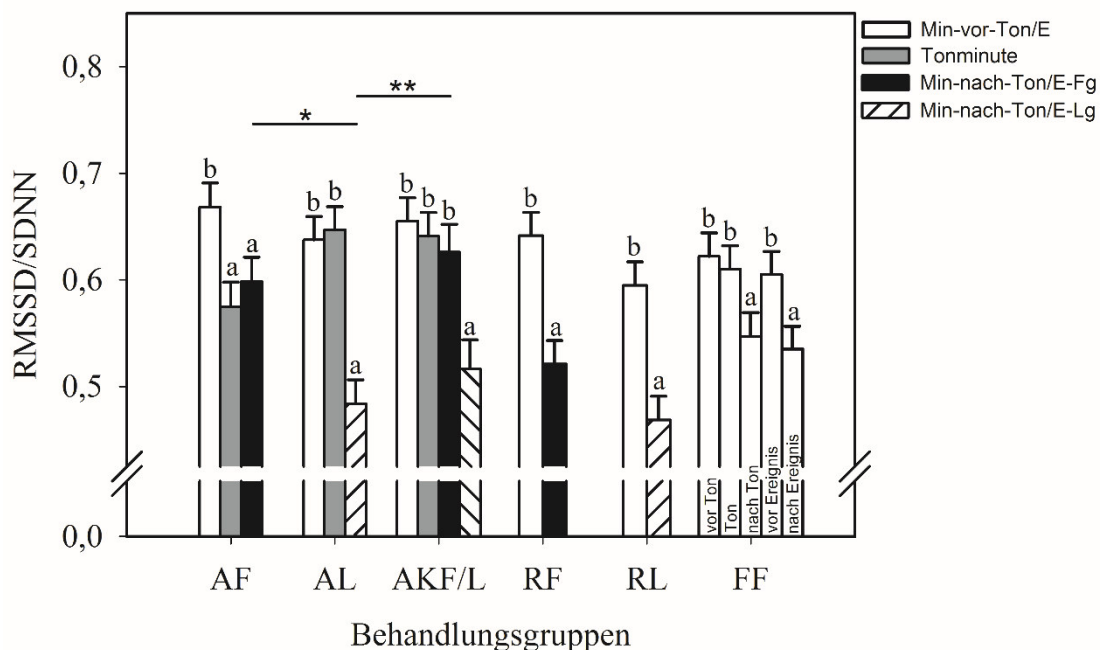


Abb. 14: Veränderung des Verhältnisses RMSSD/SDNN der jeweiligen Behandlungsgruppe über die Messminuten. Minute vor dem Tonsignal (weiß), Tonsignalminute (grau), Minute nach dem Tonsignal inklusive Futtergabe (schwarz)/Luftstoßgabe (schwarz gestreift); Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen); Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen $*=p<0,05$ und $**=p<0,01$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Innerhalb der einzelnen Behandlungsgruppen sank das RMSSD/SDNN-Verhältnis deutlich in der Tonsignalminute bei der AF-Gruppe ab, so dass die Min-vor-Ton sich signifikant von der Tonminute und der Min-nach-Ton-Fg unterschied. Das

RMSSD/SDNN-Verhältnis verschob sich in Richtung vorherrschender sympathischer Kontrolle. Bei allen anderen Behandlungsgruppen konnte keine Reaktion auf das Tonsignal in den Resultaten des RMSSD/SDNN-Verhältnisses festgestellt werden.

Ein interessantes Bild zeigte sich in der AKF/L-Gruppe. Hier war der Wert des Verhältnisses von RMSSD/SDNN der Min-nach-Ton-Lg signifikant niedriger als der aller anderen Messminuten dieser Gruppe (Min-vor-Ton, Tonminute und Min-nach-Ton-Fg). Es fand demnach eine Verschiebung der Balance in Richtung Sympathikus aufgrund der Reizung mit dem Luftstoß statt, da das RMSSD/SDNN-Verhältnis deutlich absank.

Die Gruppen AL und RL reagierten ebenfalls mit einem signifikanten Abfall des RMSSD/SDNN-Verhältnisses auf die Luftstoßgabe und somit mit einer Verschiebung zur sympathischen Kontrolle. Eine Verschiebung zur sympathischen Kontrolle wies auch die RF-Gruppe als Reaktion auf die Fütterung auf. Das RMSSD/SDNN-Verhältnis nahm von der Min-vor-E zur Min-nach-E-Fg signifikant ab.

Die Kontrollgruppe (FF) reagierte im RMSSD/SDNN-Verhältnis nicht auf das Tonsignal, da das Verhältnis von der Min-vor-Ton zur Tonminute unverändert blieb. Jedoch sank das RMSSD/SDNN-Verhältnis in der Min-nach-Ton deutlich ab und unterschied sich signifikant von der Min-vor-Ton und der Tonminute. Bei den Ereignisminuten der Kontrollgruppe war der Wert des RMSSD/SDNN-Verhältnisses der Min-nach-E signifikant niedriger als der Wert der vorherigen Minute.

Wie in der Abbildung (s. Abb. 14) deutlich wird, unterschieden sich die Behandlungsgruppen auch untereinander. Die angekündigt positiv und ambivalent gereizten Behandlungsgruppen AF und AKF/L zeigten ein deutlich höheres RMSSD/SDNN-Verhältnis in den Minuten nach dem Tonsignal mit erfolgter Futtergabe im Vergleich zur Minute nach dem Ton mit erfolgter Luftstoßgabe der AL-Gruppe. Die AL-Gruppe stand unter höherer sympathischer Kontrolle als die AF- und AKF/L-Gruppen.

3.2.2 Antizipation (Tonsignalminute) – Kurzfristige Veränderungen

Getestete Behandlungsgruppen: angekündigte Fütterung (AF), angekündigter Luftstoß (AL), angekündigte Konfliktsituation Fütterung oder Luftstoß (AKF/L) und feste Fütterungszeit (FF)

Es sind die konditionierten Behandlungsgruppen (AF, AL, AKF/L) und die FF-Gruppe als Kontrollgruppe dargestellt und es werden für alle Parameter der Zeitbereichsanalyse die Ergebnisse der Einflussfaktoren Versuchstag, Zeit und Behandlung genauer betrachtet. Die Resultate weiterer Einflussfaktoren sind im Anhang in Tabelle 19 zu finden.

Δ HR: Einen signifikanten Einfluss auf die Herzfrequenzänderung während der Tonsignalminute hatten die Faktoren Versuchstag ($F=7,06$; $p<0,001$) und Zeit ($F=23,31$; $p<0,001$). Im paarweisen Vergleich der Versuchstage veränderte sich die ΔHR am Versuchstag 25 bei den Behandlungsgruppen mit einem durchschnittlichen Anstieg von $0,52\pm 0,78$ bpm am geringsten und am Tag 30 mit einem Anstieg von $3,9\pm 0,78$ bpm signifikant am stärksten ($t>3,13$; $p<0,05$). Die Ergebnisse der Vor- und Nachmittagswerte wiesen im Vergleich signifikante Unterschiede auf, so hatte der Faktor Zeit vormittags mit einem Anstieg von $3,18\pm 0,6$ bpm einen signifikant höheren

($t=4,83$; $p<0,001$) Effekt auf die Herzfrequenzänderung, als nachmittags mit einem Anstieg von $0,58\pm 0,6$ bpm. Einen eindeutigen Einfluss auf die Ausprägung der Herzfrequenz hatte ebenso der Faktor Behandlung ($F=6,95$; $p<0,001$). In Vergleichen zwischen den Behandlungsgruppen konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 15; Auflistung der $LSM\pm SE$ mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 20).

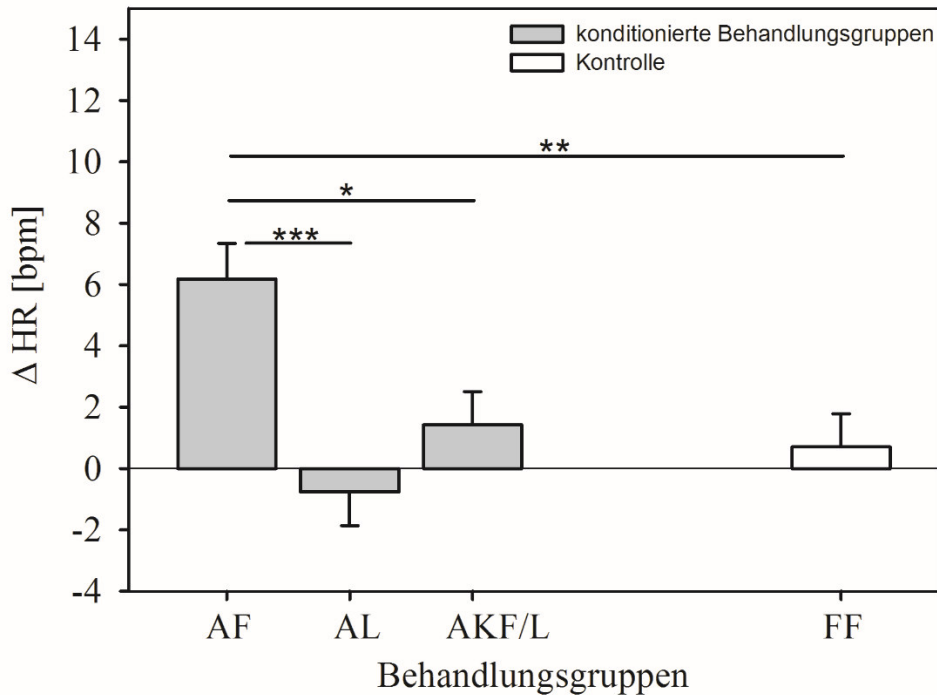


Abb. 15: Herzfrequenzänderung während der Tonminute der jeweiligen Behandlungsgruppe. AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, FF: feste Fütterung als Kontrolle (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen); *= $p<0,05$; **= $p<0,01$; ***= $p<0,001$.

Wie in der Abbildung zu sehen ist, war die Herzfrequenzänderung bei den Tieren mit angekündigtem positiven Reiz (AF) signifikant höher im Vergleich zu allen anderen Behandlungsgruppen ($t>2,99$; $p<0,05$).

Δ RMSSD und Δ SDNN: Einen signifikanten Einfluss auf den HRV-Parameter Δ RMSSD hatten die Faktoren Versuchstag ($F=3,66$; $p<0,01$) und Zeit ($F=4,10$; $p<0,05$). Im paarweisen Vergleich der Versuchstage veränderte sich am Tag 30 der RMSSD-Wert bei den Behandlungsgruppen mit einem Abfall von $-0,04\pm 0,53$ ms am geringsten und am Tag 28 mit einem Anstieg von $2,35\pm 0,53$ ms am stärksten. Ebenso unterschieden sich die Δ RMSSD-Ergebnisse des Nachmittags von denen des Vormittags. Die Änderung der RMSSD mit $2,00\pm 0,39$ ms war nachmittags stärker ($t=2,02$; $p<0,05$) als vormittags mit einer Änderung um $1,07\pm 0,39$ ms.

Der Faktor Behandlung hatte auf den HRV-Parameter Δ SDNN einen signifikanten Effekt ($F=10,02$; $p<0,001$) und einen tendenziellen Einfluss auf Δ RMSSD ($F=2,42$; $p<0,1$). In paarweisen Vergleichen zwischen den Behandlungsgruppen konnten bei beiden HRV-Parametern signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 16A, B; Auflistung der $LSM\pm SE$ mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 20).

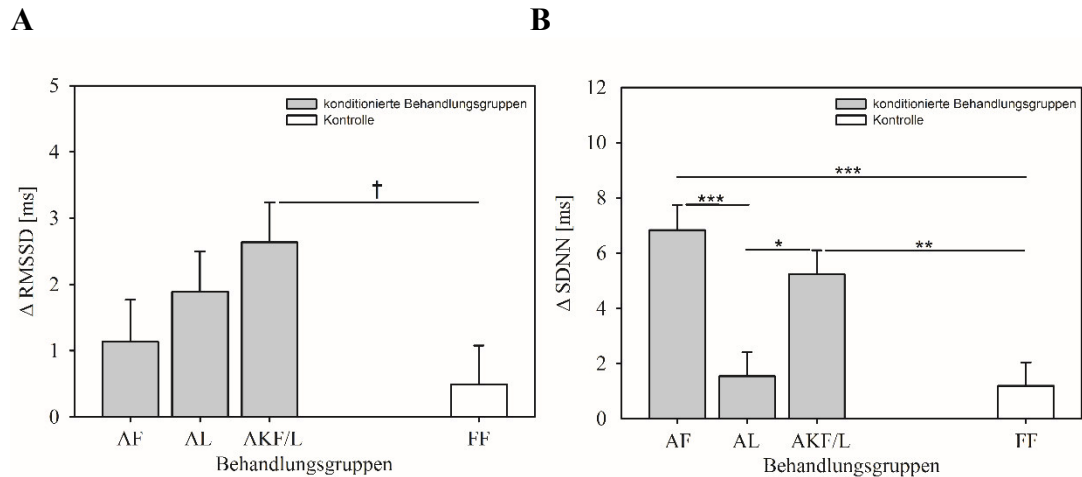


Abb. 16: Änderung der HRV-Parameter während der Tonminute der jeweiligen Behandlungsgruppe. AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, FF: feste Fütterung als Kontrolle (Messminute entsprechend den anderen Gruppen); A: Δ RMSSD und B: Δ SDNN; †= $p < 0,1$; *= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$.

In der Abbildung 16A wird ersichtlich, dass die Behandlungsgruppe AKF/L sich von der Kontrollgruppe FF mit einem tendenziell höheren Anstieg der RMSSD unterscheidet.

In der Darstellung der SDNN-Änderung der Behandlungsgruppen wird deutlich, dass die Behandlungsgruppe AF einen stärkeren Anstieg des SDNN-Parameters während der Tonminute im Vergleich zur AL- und FF-Gruppe aufweist. Des Weiteren unterscheidet sich auch die ambivalent gereizte Gruppe (AKF/L) mit einem signifikant stärkeren Anstieg der Δ SDNN von der AL- und FF-Gruppe. Die AL-Gruppe unterschied sich nicht von der Kontrollgruppe (FF).

RMSSD/SDNN: Einen Einfluss auf die Ausprägung des Δ RMSSD/SDNN-Verhältnisses hatte der Faktor Behandlung ($F=4,30$; $p < 0,01$). Signifikante Unterschiede konnten in paarweisen Vergleichen zwischen den Behandlungsgruppen festgestellt werden (Abb. 17; Auflistung der $LSM \pm SE$ mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 20).

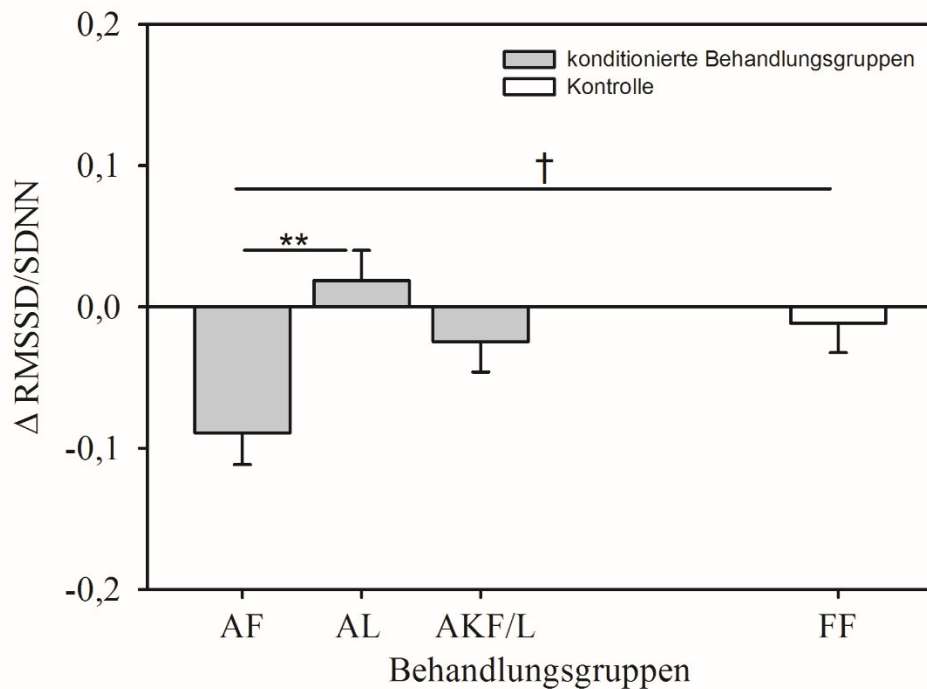


Abb. 17: RMSSD/SDNN-Änderung während der Tonminute der jeweiligen Behandlungsgruppe. AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, FF: feste Fütterung als Kontrolle (Messminute entsprechend den anderen Gruppen); †= $p < 0,1$; **= $p < 0,01$.

In der Abbildung 17 wird deutlich, dass sich bei der AF-Gruppe das Verhältnis von Δ RMSSD/SDNN im Vergleich mit den Behandlungsgruppen AL und FF am stärksten änderte. Das Verhältnis sank deutlich ab und verschob sich in Richtung vorherrschender sympathischer Kontrolle.

3.2.3 Langfristige Veränderungen – Basalwerte

Getestete Behandlungsgruppen: alle Behandlungsgruppen

Es sind alle Ergebnisse der Einflussfaktoren auf die Basalherzfrequenz und Basalherzfrequenzvariabilität aus der Zeitbereichsanalyse in der folgenden Tabelle 6 dargestellt. (Die Ergebnisse der Frequenzbereichsanalyse sind im Anhang in Tabelle 21 zu finden.)

Tab. 6: Übersicht über die signifikanten Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität bei der Zeitbereichsanalyse. (Hervorgehobene Ergebnisse werden im Folgenden näher betrachtet.)

| Faktoren und Interaktionen | HR | RMSSD | SDNN | RMSSD/SDNN |
|--|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Durchgang | F=18,35; p<0,001 | F=19,97; p<0,001 | F=30,14; p<0,001 | F=23,05; p<0,001 |
| Versuchsabschnitt | F=130,40; p<0,001 | F=245,35; p<0,001 | F=136,62; p<0,001 | F=680,09; p<0,001 |
| Behandlung | F=13,43; p<0,001 | F=7,83; p<0,001 | F=16,58; p<0,001 | F=4,90; p<0,001 |
| Durchgang× Versuchsabschnitt | F=8,02; p<0,001 | F=7,43; p<0,001 | F=8,23; p<0,001 | F=4,65; p<0,001 |
| Durchgang× Behandlung | F=5,73; p<0,001 | F=2,98; p<0,001 | F=5,13; p<0,001 | F=5,05; p<0,001 |
| Behandlung× Versuchsabschnitt | F=11,81; p<0,001 | F=4,33; p<0,001 | F=6,64; p<0,001 | F=5,73; p<0,001 |

Als langfristige Reaktion hatten die Faktoren Durchgang, Versuchsabschnitt und Behandlung einen signifikanten Einfluss auf alle Parameter der Zeitbereichsanalyse. Ebenso zeigten die Resultate der Zweifach-Interaktionen der Faktoren Durchgang × Versuchsabschnitt, Durchgang × Behandlung und auch Behandlung × Versuchsabschnitt signifikante Unterschiede in allen Parametern. Die in der Tabelle hervorgehobene Zweifachinteraktion der Faktoren Behandlung × Versuchstag wird im Folgenden näher betrachtet.

Basal-HR: Die Resultate der Interaktion der Faktoren Behandlung und Versuchsabschnitt lieferten in den Behandlungsgruppen in der Herzfrequenz signifikante Unterschiede (F=11,81; p<0,001). Ebenso konnten in den paarweisen Vergleichen innerhalb und zwischen den Behandlungsgruppen und der Versuchsabschnitt (drei Tage am Versuchsanfang und drei Tage am Versuchsende) signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 18; Auflistung der LSM±SE mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 22).

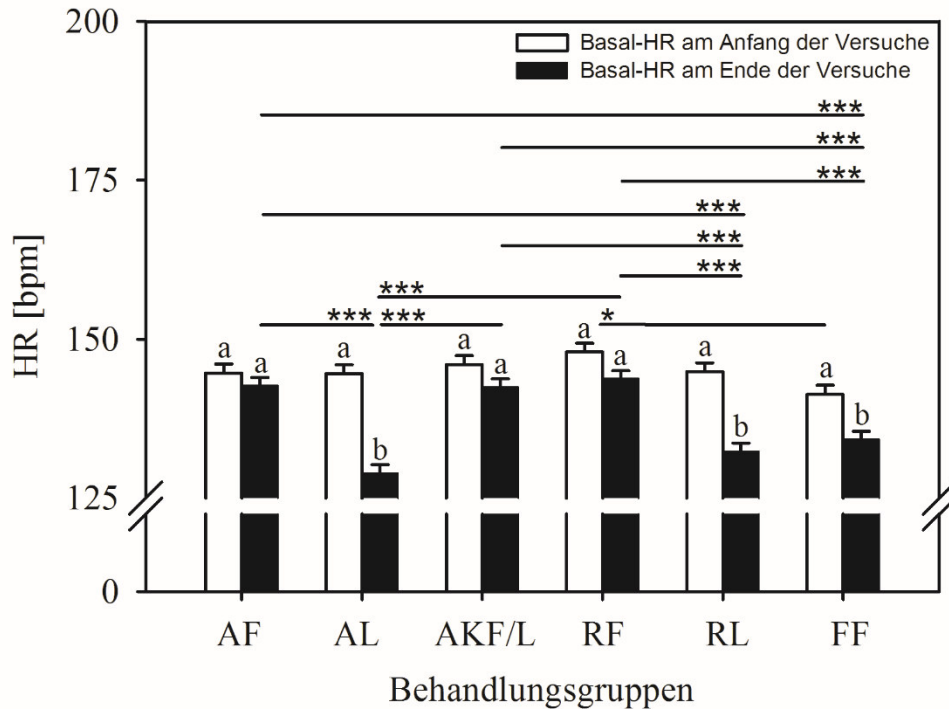


Abb. 18: Basalherzfrequenz (BHR) der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung; Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen *= $p<0,05$; **= $p<0,01$ und ***= $p<0,001$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Bei den negativ gereizten Tieren (AL und RL) und der Kontrollgruppe (FF) konnte innerhalb der jeweiligen Behandlungsgruppe eine eindeutige Abnahme vom Versuchsbeginn zum Versuchsende in der Basalherzfrequenz festgestellt werden. Als langfristige Reaktion wurde beim Vergleich zwischen den Gruppen am Versuchsende eine generell höhere Basalherzfrequenz bei allen positiv und ambivalent gereizten Tieren zu den negativ gereizten Gruppen (AL, RL) und zur Kontrollgruppe nachgewiesen. Zusätzlich unterschied sich die RF-Gruppe signifikant von der FF-Gruppe mit höheren Basalherzfrequenzwerten am Anfang des Versuches.

Basal-RMSSD und Basal-HF n.u.: Es zeigten sich beim Zeitbereichsanalysenparameter RMSSD und beim HF n.u.-Parameter der Frequenzbereichsanalyse eine signifikante Interaktion der Einflussfaktoren Behandlung und Versuchsabschnitt (RMSSD: $F=4,33$; $p<0,001$; HF n.u.: $F=4,45$; $p<0,001$). Auch konnten in den paarweisen Vergleichen innerhalb und zwischen den Behandlungsgruppen und der Versuchsabschnitt signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 19, 20; Auflistung der $LSM \pm SE$ mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 23).

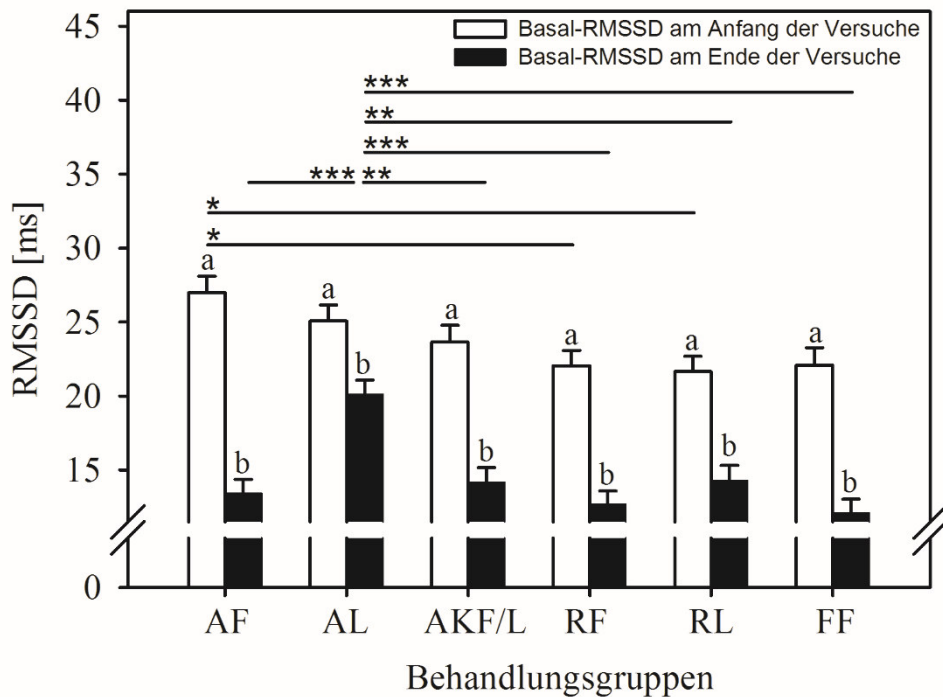


Abb. 19: Basalherzfrequenzvariabilitätsparameter RMSSD der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung; Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen $*=p<0,05$; $**=p<0,01$ und $***=p<0,001$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Als langfristige Reaktion wurden signifikant niedrigere Basal-RMSSD-Werte am Versuchsende im Vergleich zum Versuchsanfang bei allen Behandlungsgruppen nachgewiesen. Dieser Sachverhalt spiegelte sich auch in den Basal-HF n.u.-Werten wider (s. Abb. 20).

Zusätzlich wird deutlich, dass bei den angekündigt negativ gereizten Tieren (AL) ein eindeutig höherer Basal-RMSSD-Wert im Vergleich zu allen anderen Behandlungsgruppen zum Ende der Versuche festgestellt wurde. Weiterhin unterschied sich signifikant die AF-Gruppe mit einem höheren RMSSD-Ausgangswert von den unangekündigt gereizten Behandlungsgruppen (RF, RL).

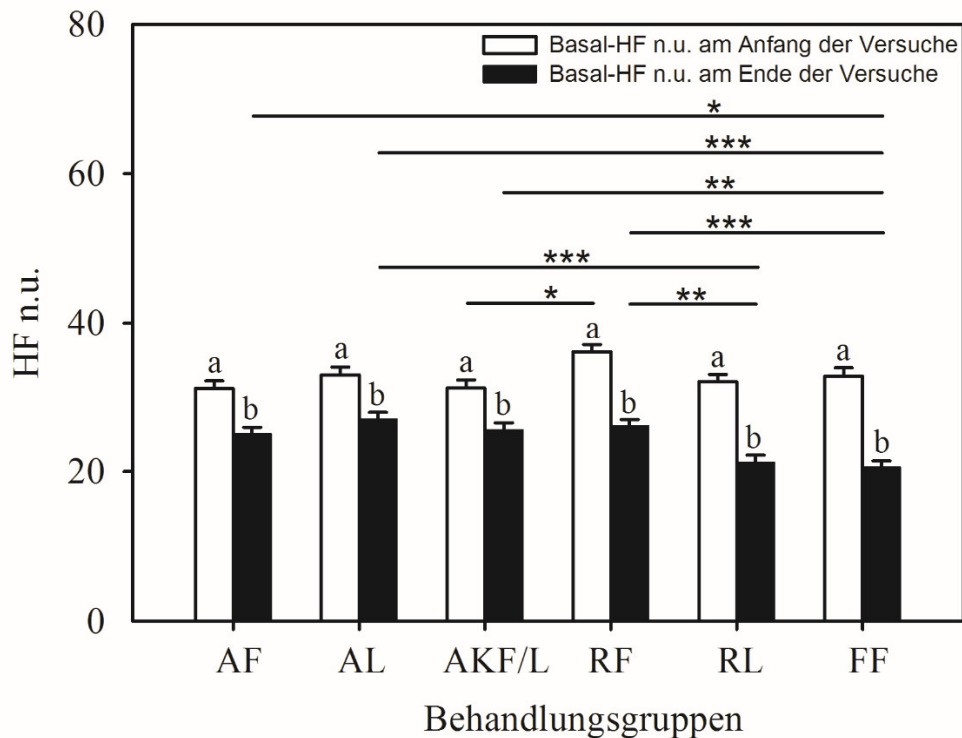


Abb. 20: Frequenzbereichsanalysenparameter HF n.u. am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung; Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen $*$ = $p<0,05$; $**$ = $p<0,01$ und $***$ = $p<0,001$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Bei allen Behandlungsgruppen konnte innerhalb der jeweiligen Behandlungsgruppe eine eindeutige Abnahme vom Versuchsbeginn zum Versuchsende in der HF n.u. festgestellt werden.

Des Weiteren wurden signifikante Unterschiede beim Parameter der Frequenzbereichsanalyse Basal-HF n.u. nachgewiesen, die sich nicht im Basal-RMSSD der Zeitbereichsanalyse wiederfinden. Hier unterschieden sich signifikant die Gruppen AF, AL, AKF/L und RF mit höheren Versuchsendwerten von der Kontrollgruppe. Auch unterschieden sich die RF- und AL-Gruppe eindeutig in den Versuchsendwerten von der RL-Gruppe. In den Werten vom Versuchsbeginn hatte die RF-Gruppe signifikant höhere Basal-HF n.u.-Werte als die ambivalent gereizte Gruppe AKF/L.

Basal-SDNN und Basal-LF n.u.: Es zeigten sich beim HRV-Parameter SDNN und ebenso beim LF n.u.-Parameter der Frequenzbereichsanalyse eine signifikante Interaktion der Einflussfaktoren Behandlung und Versuchsabschnitt (SDNN: $F=6,64$; $p<0,001$, LF n.u.: $F=4,45$; $p<0,001$). Weiterhin konnten in den paarweisen Vergleichen innerhalb und zwischen den Behandlungsgruppen und der Versuchstagsgruppe signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 21, 22; Auflistung der $LSM \pm SE$ mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 24).

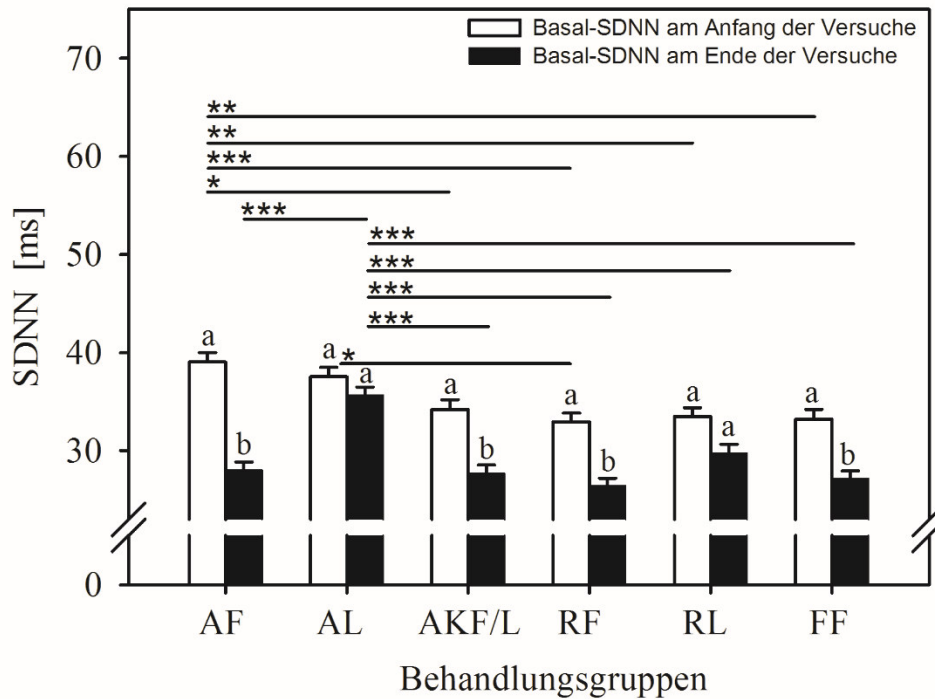


Abb. 21: Basalherzfrequenzvariabilitätsparameter SDNN der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung; Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen $*=p<0,05$; $**=p<0,01$ und $***=p<0,001$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Als langfristige Reaktion wurden signifikant niedrigere Basal-SDNN-Werte am Versuchsende im Vergleich zum Versuchsanfang bei den Behandlungsgruppen AF, AKF/L, RF und FF nachgewiesen.

In der Abbildung der Basal-SDNN wird deutlich, dass bei den angekündigt negativ gereizten Tieren (AL) ein eindeutig höherer Basal-SDNN-Wert im Vergleich zu allen anderen Behandlungsgruppen zum Ende der Versuche festgestellt wurde. Zusätzlich unterschied sich die AF-Gruppe am Versuchsbeginn mit einem signifikant höheren SDNN-Wert im Vergleich zu den Behandlungsgruppen AKF/L, RF, RL und FF. Ebenso zeigte die AL-Gruppe im Vergleich mit der RF-Gruppe zum Versuchsbeginn eindeutig höhere SDNN-Werte.

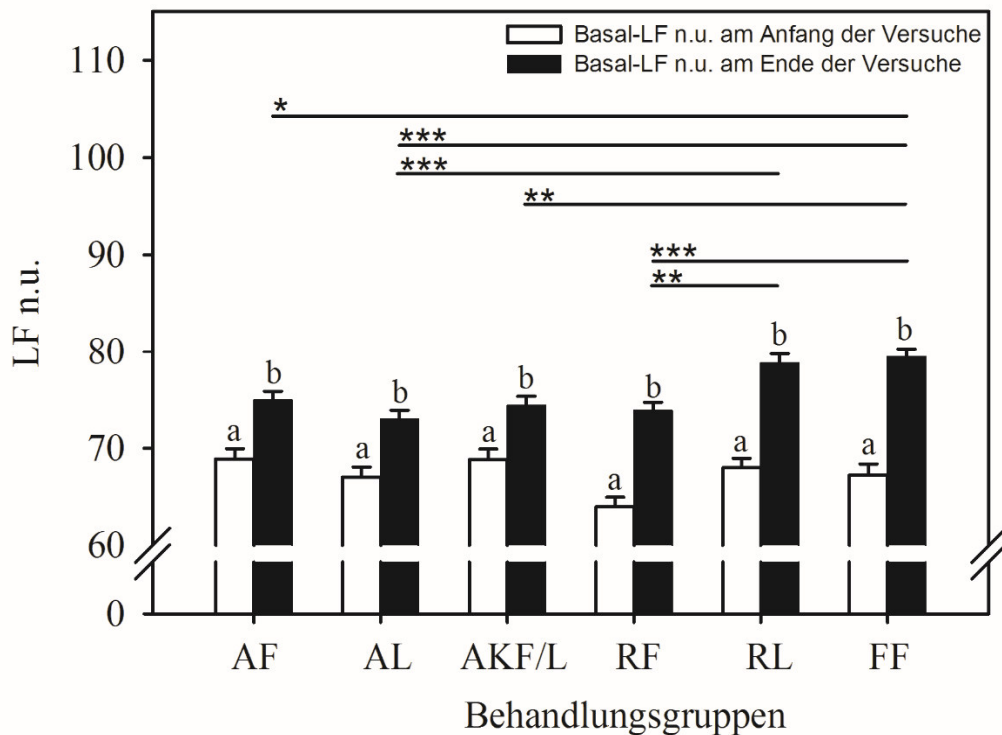


Abb. 22: Frequenzbereichsanalysenparameter LF n.u. der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung; Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen $*=p<0,05$; $**=p<0,01$ und $***=p<0,001$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Bei allen Behandlungsgruppen konnte innerhalb der jeweiligen Behandlungsgruppe eine eindeutige Zunahme vom Versuchsbeginn zum Versuchsende in der LF n.u. festgestellt werden.

Im weiteren Vergleich zwischen den SDNN- und LF n.u.-Werten fielen Unterschiede auf. Bei den LF n.u.-Ergebnissen hatte die Kontrollgruppe (FF) den signifikant höheren Wert am Ende der Versuche als die Gruppen RF, AKF/L, AF und AL. Zusätzlich unterschieden sich die RF- und AL-Gruppe signifikant in den Versuchsendwerten von der RL-Gruppe. In den Werten vom Versuchsbeginn hatte die RF-Gruppe signifikant niedrigere Basal-LF n.u.-Werte als die ambivalent gereizte Gruppe AKF/L und die angekündigt positiv gereizte Gruppe AF.

Basal-RMSSD/SDNN und Basal-LF/HF: Die Resultate der Interaktion der Faktoren Behandlung und Versuchsabschnitt lieferten in den verschiedenen Behandlungsgruppen im Verhältnis RMSSD/SDNN und LF/HF signifikante Unterschiede (RMSSD/SDNN: $F=5,73$; $p<0,001$; LF/HF: $F=5,61$; $p<0,001$). Auch konnten in den paarweisen Vergleichen innerhalb und zwischen den Behandlungsgruppen und Versuchsabschnitt signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 23, 24; Auflistung der LSM \pm SE mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 25).

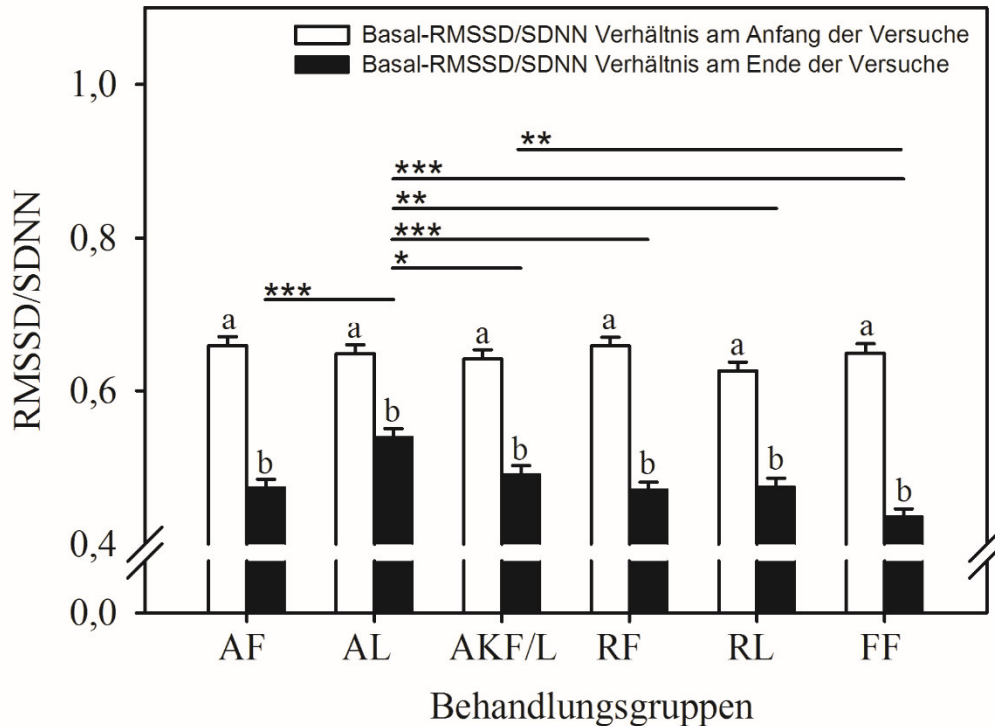


Abb. 23: Basalherzfrequenzvariabilitätsparameter RMSSD/SDNN der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung; Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen *= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$ und ***= $p < 0,001$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Als langfristige Reaktion wurden signifikant niedrigere Basal-RMSSD/SDNN-Werte am Versuchsende im Vergleich zum Versuchsanfang bei allen Behandlungsgruppen nachgewiesen. Dies stellt eine Balanceverschiebung in Richtung vorherrschender sympathischer Kontrolle des Herzens bei allen Behandlungsgruppen dar.

In der Abbildung wird deutlich, dass die Versuchsendwerte der AL-Gruppe eindeutig höher sind als die Werte aller anderen Behandlungsgruppen. Ebenso unterschied sich die AKF/L-Gruppe signifikant mit einem höheren Versuchsendwert im Vergleich zum Versuchsendwert der Kontrollgruppe (FF).

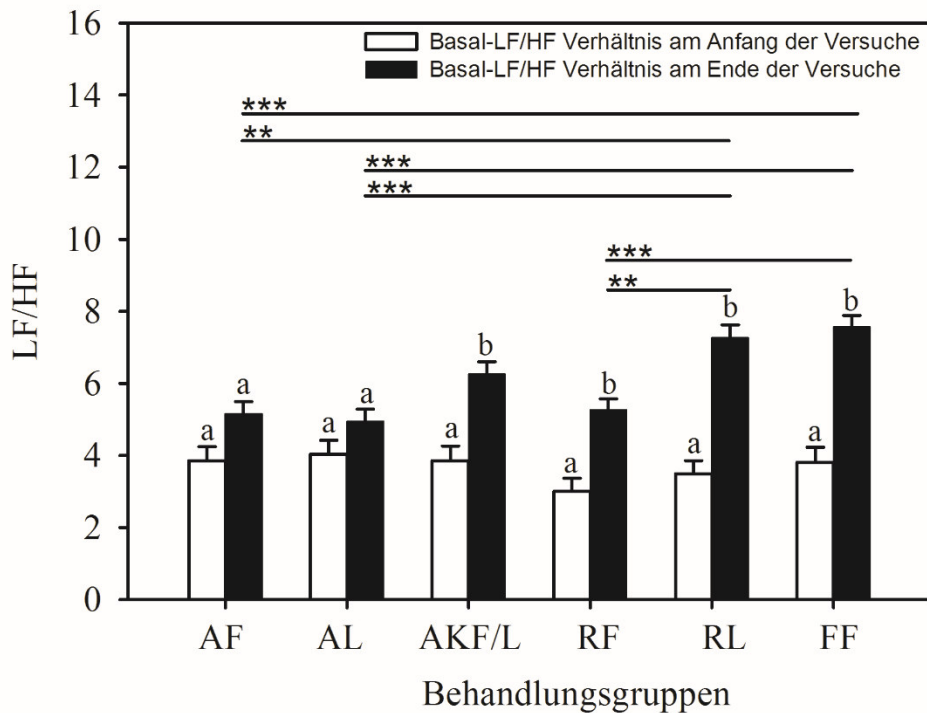


Abb. 24: Frequenzbereichsanalysenparameter LF/HF der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung; Die Buchstaben a, b zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen an. Die Darstellungen **= $p < 0,01$ und ***= $p < 0,001$ beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Im Vergleich zu den vom Verhältnis RMSSD/SDNN zum Verhältnis LF/HF fielen Unterschiede auf. Als langfristige Reaktion wurden bei den Behandlungsgruppen AKF/L, RF, RL und FF signifikant höhere LF/HF-Werte am Versuchsende im Vergleich zum Versuchsanfang nachgewiesen. Bei der Betrachtung der Unterschiede zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen hatten die Kontrollgruppe und die RL-Gruppe deutlich höhere LF/HF-Werte am Ende der Versuche als die Gruppen RF, AL und AF.

3.2.4 Langfristige Antizipation der Fütterung

Getestete Behandlungsgruppen: FF-Gruppe (Kontrollgruppe)

Die Ergebnisse der Einflussfaktoren auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität aus der Zeitbereichsanalyse der getesteten FF-Gruppe sind in der folgenden Tabelle 7 dargestellt.

Tab. 7: Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktion auf die Parameter der Zeitbereichsanalyse. (Hervorgehobene Ergebnisse werden nachfolgend näher betrachtet)

| Faktoren und Interaktionen | HR | RMSSD | SDNN | RMSSD/SDNN |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| Durchgang | F=22,24; p<0,001 | F=24,57; p<0,001 | F=18,66; p<0,001 | F=19,69; p<0,001 |
| Versuchstag | F=13,84; p<0,001 | F=3,64; p<0,05 | F=3,58; p<0,05 | F=2,95; p<0,05 |
| Zeitabschnitt | F=64,28; p<0,001 | F=8,43; p<0,001 | F=5,50; p<0,01 | F=6,12; p<0,001 |
| Versuchstag×Zeitabschnitt | F=2,11; p<0,05 | F=2,14; p<0,05 | F=3,19; p<0,01 | F=1,06; p=0,40 |

Auffallend ist, dass alle Faktoren einen signifikanten Einfluss auf sämtliche Parameter der Zeitbereichsanalyse hatten. Die Resultate der Interaktion der Faktoren Versuchstag und Zeitabschnitt zeigten in der Herzfrequenz, RMSSD und SDNN signifikante Unterschiede. Ebenso konnten in den paarweisen Vergleichen innerhalb der Zeitabschnitte signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 25; Auflistung der LSM±SE mit t- und p-Werten siehe Anhang Tab. 26).

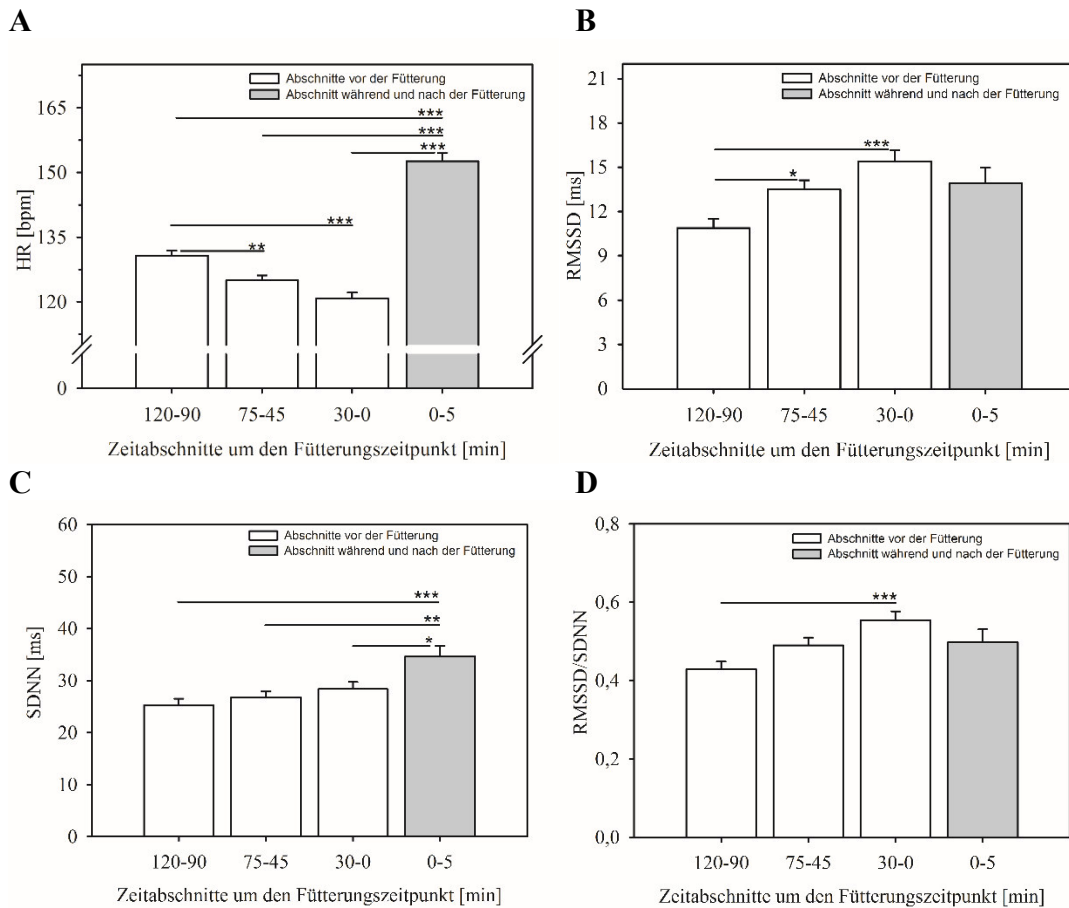


Abb. 25: Herzfrequenz und HRV in zeitlicher Annäherung an die Fütterung. A: HR, B: RMSSD, C: SDNN und D: RMSSD/SDNN während der vier Zeitabschnitte um den Fütterungszeitpunkt (0=Fütterung) der FF-Gruppe. * = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p<0,001.

Aus der Abbildung geht hervor, dass die Herzfrequenz signifikant über die Zeitabschnitte (120 bis 0 min) in Richtung Fütterungszeitpunkt abnahm. Im Gegensatz dazu stiegen die RMSSD und das RMSSD/SDNN-Verhältnis über die Zeitabschnitte bis hin zum Fütterungszeitpunkt deutlich an (Abb. 25B,D).

Während der Fütterung (Zeitabschnitt 0-5) war der sympathische Einfluss auf die Herzaktivität am höchsten, da die HR und die SDNN in diesem Zeitabschnitt das signifikant höchste Level erreichen konnten (Abb. 25A,C).

3.2.5 Spearman's Rangkorrelation der Zeit- und Frequenzbereichsanalyse

Getestete Behandlungsgruppen: alle Behandlungsgruppen

Basierend auf den Daten, die in den 16 Durchgängen als Basalwerte (s. 3.2.3) gewonnen wurden, wurde eine Rangkorrelation mit den Parametern der Zeitbereichsanalyse und der Frequenzbereichsanalyse durchgeführt (Tab. 8).

Tab. 8: Darstellung der signifikant ($p < 0,001$) korrelierenden Parameter von allen 95 Tieren. Der daraus berechnete Korrelationskoeffizient r wurde mit Pfeilen verdeutlicht: \uparrow $r=(0,75$ bis $1)$ stark positiv korreliert; \nearrow $r=(0,25$ bis $0,75)$ mäßig positiv korreliert; \rightarrow $r=(0$ bis $\pm 0,25)$ schwach positiv/negativ korreliert; \searrow $r=(-0,25$ bis $-0,75)$ mäßig negativ korreliert; \downarrow $r=(-0,75$ bis $-1)$ stark negativ korreliert.

| Parameter | RMSSD | SDNN | RMSSD/SDNN | HF n.u. | HF (ms ²) | LF n.u. | LF (ms ²) | VLF (ms ²) | LF/HF |
|------------------------|-------|------------|------------|---------------|-----------------------|---------------|-----------------------|------------------------|---------------|
| RMSSD | --- | \uparrow | \uparrow | \nearrow | \uparrow | \searrow | \nearrow | \nearrow | \searrow |
| SDNN | | --- | \nearrow | \rightarrow | \nearrow | \rightarrow | \nearrow | \nearrow | \rightarrow |
| RMSSD/SDNN | | | --- | \nearrow | \uparrow | \searrow | \nearrow | \rightarrow | \searrow |
| HF n.u. | | | | --- | \nearrow | \downarrow | \rightarrow | \rightarrow | \downarrow |
| HF (ms ²) | | | | | --- | | \nearrow | \rightarrow | \searrow |
| LF n.u. | | | | | | --- | \rightarrow | \rightarrow | \uparrow |
| LF (ms ²) | | | | | | | --- | \nearrow | \rightarrow |
| VLF (ms ²) | | | | | | | | --- | \rightarrow |
| LF/HF | | | | | | | | | --- |

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass die Parameter der Zeitbereichsanalyse mit den Parametern der Frequenzbereichsanalyse verschieden stark korrelieren. Innerhalb der jeweiligen Analysemethode ist die Korrelation der Parameter untereinander am stärksten (grün hervorgehoben), bei der Zeitbereichsanalyse SDNN und RMSSD/SDNN jeweils mit RMSSD und bei der Frequenzbereichsanalyse (LF n.u. mit HF n.u.; LF/HF mit HF n.u.; LF/HF mit LF n.u.). Ebenfalls relevant sind hier auch die Ergebnisse zwischen den verschiedenen Analysen (blau hervorgehoben) der Herzschlagaktivität. So korreliert RMSSD mit HF n.u. mäßig positiv ($r=0,47$) aber mit HF power stark positiv ($r=0,92$) und des Weiteren die SDNN schwach negativ ($r=-0,11$) mit LF n.u. aber mäßig positiv ($r=0,75$) mit LF power. Die Verhältnisse LF/HF und RMSSD/SDNN korrelieren mäßig negativ ($r=-0,63$) miteinander.

3.3 Verhalten

3.3.1 Verhaltensveränderungen (angekündigtes vs. unangekündigtes Ereignis)

Getestete Behandlungsgruppen: alle Behandlungsgruppen

Die nachfolgenden Ergebnisse der Verhaltensbeobachtungen stützen sich auf Daten von 16 Durchgängen. Es wurde die Verhaltensreaktionen der Schweine auf die akuten Behandlungen an den Versuchstagen (7, 11, 18, 21, 30) der Durchgänge beobachtet, um eine kontinuierliche Erfassung und somit eine eventuelle Anpassung des Verhaltens an die Behandlung über den Durchgangsverlauf zu detektieren.

Die kompletten Ergebnisse der Dauer und der Häufigkeit der Verhaltensweisen sind im Anhang in den Tabellen 27 und 28 zu finden.

In allen beobachteten Verhaltensweisen außer dem Aufsetzen konnte ein signifikanter Behandlungseffekt nachgewiesen werden (Liegen: $F=43,60$; $p<0,001$; Stehen: $F=2,47$; $p<0,05$; Aktivität: $F=13,98$; $p<0,001$; Fluchtversuch: $F=9,59$; $p<0,001$; Zucken: $F=41,80$; $p<0,001$; Ausweichen: $F=61,28$; $p<0,001$; Fressen: $F=142,12$; $p<0,001$). Es konnten in paarweisen Vergleichen zwischen den Behandlungsgruppen signifikante Unterschiede festgestellt werden (Tab. 9).

Tab. 9: Dauer (LSM \pm SE) der beobachteten Verhaltensweisen in den verschiedenen Behandlungsgruppen an allen oben genannten Versuchstagen zusammengefasst.

¹⁾ AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF: angekündigte Konfliktsituation Fütterung, AKL: angekündigte Konfliktsituation Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung

^{a, b, c} Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen mit $p<0,05$.

| Verhaltensweise [s] | AF ¹⁾ | AL ¹⁾ | AKF/L ¹⁾ | RF ¹⁾ | RL ¹⁾ | FF ¹⁾ |
|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Liegen | 32,06 \pm 1,39 ^a | 46,75 \pm 1,34 ^b | 30,98 \pm 1,14 ^a | 31,07 \pm 1,34 ^a | 48,21 \pm 1,34 ^b | 44,68 \pm 1,10 ^b |
| Aufsetzen | 2,58 \pm 0,75 | 4,63 \pm 0,73 | 4,31 \pm 0,60 | 3,30 \pm 0,72 | 4,35 \pm 0,72 | 4,87 \pm 0,60 |
| Stehen | 0,66 \pm 0,34 | 0,81 \pm 0,33 | 1,44 \pm 0,28 | 0,41 \pm 0,32 | 1,64 \pm 0,32 | 0,69 \pm 0,30 |
| Aktivität | 3,55 \pm 0,82 ^a | 5,44 \pm 0,79 ^a | 10,11 \pm 0,63 ^b | 3,57 \pm 0,80 ^a | 4,11 \pm 0,80 ^a | 4,82 \pm 0,60 ^a |
| Fluchtversuch | 0,04 \pm 0,13 ^a | 1,00 \pm 0,13 ^b | 0,41 \pm 0,11 ^a | 0,06 \pm 0,12 ^a | 0,33 \pm 0,12 ^a | 0,02 \pm 0,10 ^a |
| Zucken | 0,00 \pm 0,04 ^a | 0,49 \pm 0,04 ^b | 0,07 \pm 0,03 ^a | 0,00 \pm 0,04 ^a | 0,48 \pm 0,04 ^b | 0,00 \pm 0,03 ^a |
| Ausweichen | 0,01 \pm 0,06 ^a | 0,91 \pm 0,06 ^b | 0,49 \pm 0,05 ^c | 0,02 \pm 0,06 ^a | 0,87 \pm 0,06 ^b | 0,01 \pm 0,05 ^a |
| Fressen | 21,11 \pm 0,87 ^a | 0,01 \pm 0,84 ^b | 12,16 \pm 0,70 ^c | 21,55 \pm 0,84 ^a | 0,00 \pm 0,84 ^b | 0,00 \pm 0,63 ^b |

Wie in dieser Tabelle deutlich wird, unterschieden sich die Gruppen mit reiner Luftstoßreizung (AL und RL) und die FF-Gruppe mit signifikant längeren ($t>7,14$; $p<0,001$) Liegedauern von allen anderen Behandlungsgruppen. Die AKF/L-Gruppe

wies eine deutlich längere Aktivitätsdauer ($t > 4,63$; $p < 0,001$) als alle weiteren Gruppen auf. Die Tiere der AL-Gruppe zeigten im Vergleich zu allen anderen Gruppen die signifikant höchste Fluchtversuchsdauer ($t > 3,57$; $p < 0,01$). In den Verhaltensweisen Zucken ($t > 8,05$; $p < 0,001$) und Ausweichen ($t > 5,16$; $p < 0,001$) wiesen die Gruppen mit reiner Luftstoßbehandlung (AL und RL) eindeutig höhere Werte als alle anderen Behandlungsgruppen auf. Des Weiteren unterschied sich die AKF/L-Gruppe in der Dauer des Ausweichens signifikant ($t > 5,63$; $p < 0,001$) von allen anderen Gruppen. Diese ambivalent gereizte Gruppe zeigte eine höhere Ausweichdauer als die Gruppen AF, RF und FF aber gleichzeitig eine geringere Dauer als die Gruppen AL und RL. Die Gruppen mit reiner Futterbehandlung (AF und RF) unterschieden sich in der Fressdauer wie erwartet signifikant ($t > 8,74$; $p < 0,001$) von allen anderen Gruppen. Und die ambivalent behandelte AKF/L-Gruppe wies ebenso deutliche Unterschiede in der Fressdauer ($t > 8,74$; $p < 0,001$) im Vergleich zu allen weiteren Gruppen auf.

3.3.2 Antizipation (Tonsignalminute)

Getestete Behandlungsgruppen: angekündigte Fütterung (AF), angekündigter Luftstoß (AL), angekündigte Konfliktsituation Fütterung oder Luftstoß (AKF/L) und feste Fütterungszeit (FF)

Bei der Auswertung der Interaktion der Faktoren Behandlung und Messminute zeigten sich in allen untersuchten Verhaltensweisen signifikante Unterschiede (s. Anhang Tab. 26). Auf die Verhaltensweisen Aufsetzen ($F = 4,10$; $p < 0,01$), Stehen ($F = 10,16$; $p < 0,001$) und Aktivität ($F = 18,20$; $p < 0,001$) der konditionierten Behandlungsgruppen (AF, AL, AKF/L) und der Kontrollgruppe FF wird im Folgenden näher eingegangen. Es konnten in paarweisen Vergleichen zwischen den Messminuten innerhalb und zwischen den genannten Behandlungsgruppen signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 26; s. Tab. 10).

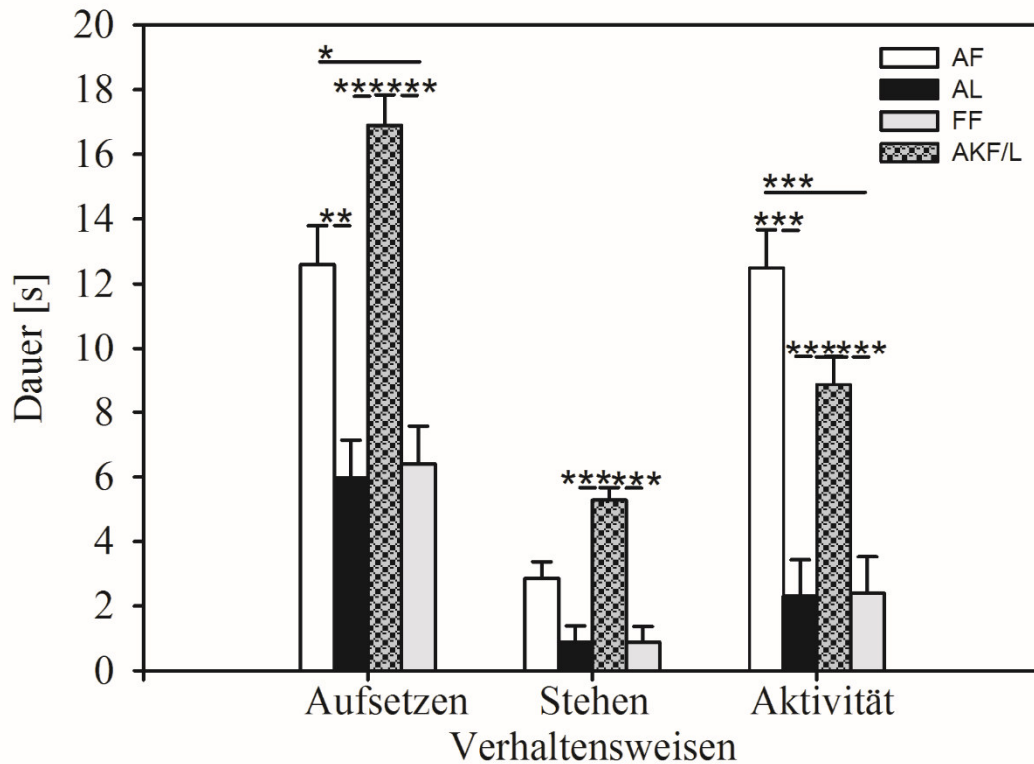


Abb. 26: Verhaltensdauer von Aufsetzen, Stehen und Aktivität der konditionierten Behandlungsgruppen (AF, AL, AKF/L) und der Kontrollgruppe (FF) während des Tonsignals. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, FF: feste Fütterung; *= $p < 0,05$; **= $p < 0,01$; ***= $p < 0,001$

Wie in der Abbildung deutlich wird, unterschied sich die Gruppe mit angekündigter Fütterung (AF) und die ambivalent gereizte Behandlungsgruppe (AKF/L) während des Tonsignals durch eine höhere Dauer des Aufsetzens ($t > 3,68$; $p < 0,05$) und der Aktivität ($t > 4,55$; $p < 0,001$) von der AL- und der FF-Gruppe signifikant. In der Verhaltensweise Stehen zeigte die AKF/L-Gruppe einen deutlich höheren Wert ($t > 7,02$; $p < 0,001$) als die AL- und die FF-Gruppe.

Auch die Minuten vor und nach dem Tonsignal der konditionierten Behandlungsgruppen und der Kontrollgruppe wurden näher betrachtet. Bei der Kontrollgruppe konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messminuten festgestellt werden. Die Resultate der Gruppen AF und AL sind in der nachfolgenden Tabelle 10 dargestellt. Die ambivalent gereizte AKF/L-Gruppe wird im Abschnitt 3.3.3 detaillierter betrachtet.

Tab. 10: Dauer (LSM±SE) der beobachteten Verhaltensweisen während der drei Messminuten der konditionierten Behandlungsgruppen AF und AL. (t-Werte und p-Werte beziehen sich auf den Vergleich zur Tonminute; Signifikanzen sind kursiv hervorgehoben)

| Verhaltensweise (LSM±SE) | AF (Min-vor-Ton) | AF (Ton-minute) | AF (Min-nach-Ton-Fg) | AL (Min-nach-Ton-Lg) | AL (Ton-minute) | AL (Min-nach-Ton-Lg) |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Aufsetzen | 2,27±1,21 ; t=7,24; p<0,001 | 12,59±1,21 | 2,89±1,21 ; t=6,80; p<0,001 | 2,88±1,17 ; t=2,24; p=0,52 | 5,97±1,17 | 6,36±1,17 ; t=0,29; p=1 |
| Stehen | 0,58±0,51 ; t=3,65; p<0,05 | 2,86±0,51 | 0,71±0,51 ; t=3,43; p<0,05 | 0,36±0,49 ; t=0,88; p=0,99 | 0,89±0,49 | 1,27±0,49 ; t=0,62; p=0,99 |
| Aktivität | 3,44±1,16 ; t=6,18; p<0,001 | 12,50±1,16 | 3,40±1,16 ; t=6,21; p<0,001 | 2,50±1,12 ; t=0,14; p=1 | 2,30±1,12 | 8,35±1,12 ; t=4,26; p<0,01 |

Vergleiche zwischen den Minuten innerhalb der Behandlungsgruppe AF zeigen, dass bei diesen Tieren die Verhaltensweisen Aufsetzen, Stehen und Aktivität während der Min-vor-Ton und der Min-nach-Ton-Fg eine signifikant geringere Dauer aufwiesen als während der Tonminute. Die Behandlungsgruppe mit der angekündigten Luftstoßbehandlung (AL) zeigte in der Verhaltensweise Aktivität eindeutige Unterschiede zwischen den Messminuten. Die Min-nach-Ton-Lg wies den höchsten Wert im Vergleich zur Tonminute und zusätzlich zur Min-vor-Ton (t=4,12; p<0,01) auf.

3.3.3 Verhalten der ambivalent gereizten Gruppe

Getestete Behandlungsgruppe: angekündigte Konfliktsituation Fütterung oder Luftstoß (AKF/L)

Die folgenden Ergebnisse beruhen auf einer Einzelbetrachtung der ambivalent gereizten Behandlungsgruppe. Es konnten in paarweisen Vergleichen zwischen den Messminuten signifikante Unterschiede festgestellt werden (Tab. 11). Die Minute nach dem Tonsignal wurde zusätzlich nach dem erfolgten Reiz aufgeteilt und die entstandenen Gruppen miteinander verglichen.

Tab. 11: Dauer (LSM±SE) der beobachteten Verhaltensweisen in der Behandlungsgruppe AKF/L aufgeschlüsselt nach den Messminuten und zusätzlich nach erfolgter Futtergabe (AKF) und erfolgter Luftstoßgabe (AKL). Die t-Werte und p-Werte beziehen sich auf den Vergleich zur Tonminute, dabei wurden die Signifikanzen kursiv hervorgehoben. Die Buchstaben a und b kennzeichnen signifikante Unterschiede mit $p < 0,05$.

| Verhaltensweise n (LSM±SE) | AKF/L (Min-vor- Ton) | AKF/L (Ton- minute) | AKF/L (Min- nach-Ton) | AKF (Min-nach- Ton-Fg) | AKL (Min-nach- Ton-Lg) |
|---|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Liegen | 52,06±1,62 ; t=15,67; p<0,001 | 28,17±1,6 2 | 9,91±1,62; t=12,82; p<0,001 | 3,69±1,78 ^a | 16,04±1,78 ^b |
| Aufsetzen | 3,25± 0,94; t=13,95; p<0,001 | 16,90±0,9 4 | 5,35±0,94; t=11,80; p<0,001 | 2,47±1,00 ^a | 8,22±1,00 ^b |
| Stehen | 0,20± 0,39; t=11,82; p<0,001 | 5,28±0,39 | 2,71±0,39; t=5,98; p<0,001 | 0,52±0,44 ^a | 4,89±0,44 ^b |
| Aktivität | 4,49± 0,87; t=4,34; p<0,001 | 8,86±0,87 | 15,70±0,87 ; t=6,80; p<0,001 | 4,08±1,12 ^a | 27,38±1,12 ^b |
| Fluchtversuch | 0,00±0,15; t=0,72; p=0,99 | 0,09±0,15 | 0,82±0,15; t=5,94; p<0,001 | 0,38±0,16 ^a | 1,22±0,16 ^b |
| Zucken | 0,00±0,03; t=0,00; p=1 | 0,00±0,03 | 0,14±0,03; t=5,37; p<0,001 | 0,00±0,05 ^a | 0,28±0,05 ^b |
| Ausweichen | 0,00±0,04; t=0,07; p=1 | 0,00±0,04 | 0,98±0,04; t=18,24; p<0,001 | 0,03±0,07 ^a | 1,93±0,07 ^b |
| Fressen | 0,02±0,66; t=0,00; p=1 | 0,02±0,66 | 24,35±0,66 ; t=25,81; p<0,001 | 48,84±1,00 ^a | 0,00± 1,00 ^b |

Wie aus dieser Tabelle hervorgeht verhielt sich die ambivalent gereizte Behandlungsgruppe in den Verhaltensweisen Aufsetzen, Stehen und Aktivität wie die AF-Gruppe (s. Tab. 10). In diesen Verhaltensweisen zeigte die Tonminute jeweils den eindeutig höchsten Wert im Vergleich zur Min-vor-Ton und Min-nach-Ton an. Die Verhaltensweisen Fluchtversuch, Ausweichen und Fressen wiesen in der jeweiligen Min-nach-Ton den signifikant höchsten Wert im Vergleich zur Tonminute und Min-vor-Ton auf. Bei der Verhaltensweise Liegen zeigte die Min-vor-Ton im Vergleich zur Tonminute und zur Min-nach-Ton den deutlich höchsten Wert.

Bei der Aufteilung der Tiere der AKF/L-Gruppe nach der erfolgten Reizung (AKF-Fütterung, AKL-Luftstoßgabe) konnten signifikante Unterschiede beim Vergleich der Min-nach-Ton festgestellt werden. Die Tiere unterschieden sich eindeutig in allen Verhaltensweisen aufgrund der verschiedenen Reizung. Die AKL-Gruppe wies signifikant höhere Werte in allen Verhaltensweisen außer dem Fressen auf ($t > 4,19$; $p < 0,001$).

3.3.4 Langfristige Veränderungen des Verhaltens

Getestete Behandlungsgruppen: alle Behandlungsgruppen

In allen Verhaltensweisen konnte ein signifikanter Tageseffekt nachgewiesen werden (Sitzen: $F=23,17$; $p<0,001$; Stehen: $F=13,72$; $p<0,001$; Aktivität: $F=8,23$; $p<0,001$; Liegen: $F=28,97$; $p<0,001$; Fressen: $F=4,55$; $p<0,001$; Fluchtversuch: $F=17,86$; $p<0,001$; Ausweichen: $F=4,88$; $p<0,001$; Zucken: $F=10,31$; $p<0,001$). Das Verhalten änderte sich über den Versuchszeitraum an den Versuchstagen.

Des Weiteren wird näher auf die Verhaltensweisen Fluchtversuch, Ausweichen und Zucken eingegangen. Es konnten in paarweisen Vergleichen zwischen den Versuchstagen signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 27), die auf die Tiere mit Luftstoßbehandlung (AL, AKF/L und RL) zurückzuführen sind, da bei allen anderen Behandlungsgruppen diese Verhaltensweisen nur sehr geringfügig auftraten (s. Tab. 9 in Abschnitt 3.3.1).

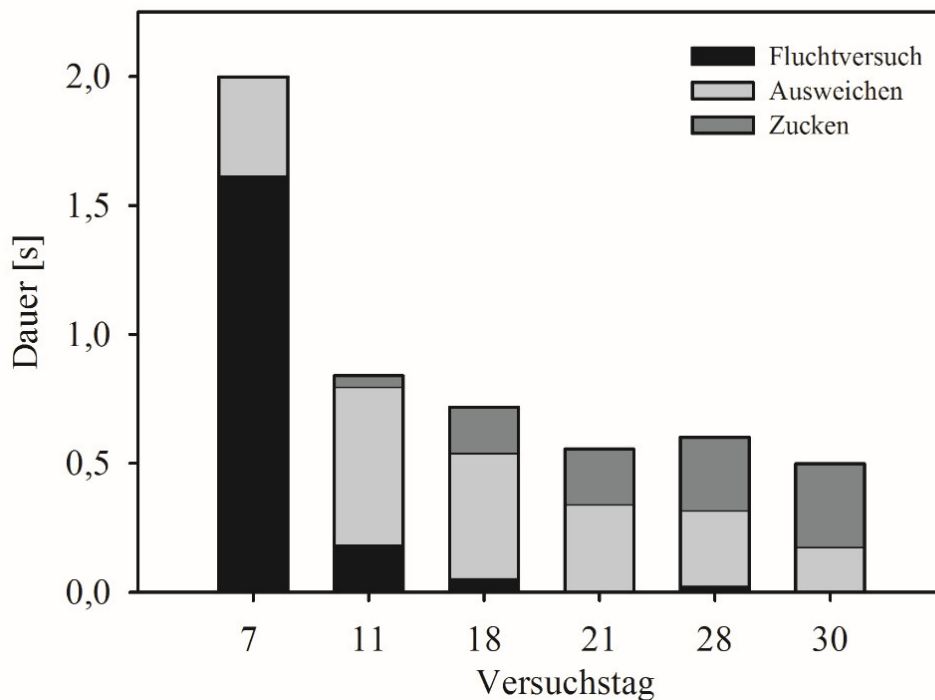


Abb. 27: Verhaltensdauer von Fluchtversuch, Ausweichen und Zucken der Gruppen mit Luftstoßbehandlung (AL, AKF/L, RL) über die Versuchstage. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß

Die Dauer der Fluchtversuche war an Tag 7 signifikant höher als an allen folgenden Versuchstagen (alle $t>12,95$, alle $p<0,001$). Im Gegensatz dazu war die Dauer der Verhaltensweise Zucken an Tag 7 im Vergleich zu allen anderen Tagen außer Tag 11 am niedrigsten (alle $t>5,59$, alle $p<0,001$), und es unterschied sich Tag 11 signifikant von den Tagen 18, 21, 28, 30 (alle $t>4,32$, alle $p<0,001$). Beim Ausweichen konnte im Vergleich des Tages 11 zu den Tagen 21, 28 und 30 eine signifikante Abnahme festgestellt werden (alle $t>4,95$, alle $p<0,001$).

3.3.5 Langfristige Antizipation der Fütterung

Getestete Behandlungsgruppen: FF-Gruppe (Kontrollgruppe)

Der Faktor Zeitabschnitt hatte einen signifikanten Einfluss auf die Dauer der Verhaltensweisen „Aktiv“ ($F=8,54$; $p<0,01$) und „Liegen“ ($F=3,46$; $p<0,05$). Es konnten in paarweisen Vergleichen zwischen den Zeitabschnitten signifikante Unterschiede festgestellt werden (Abb. 28).

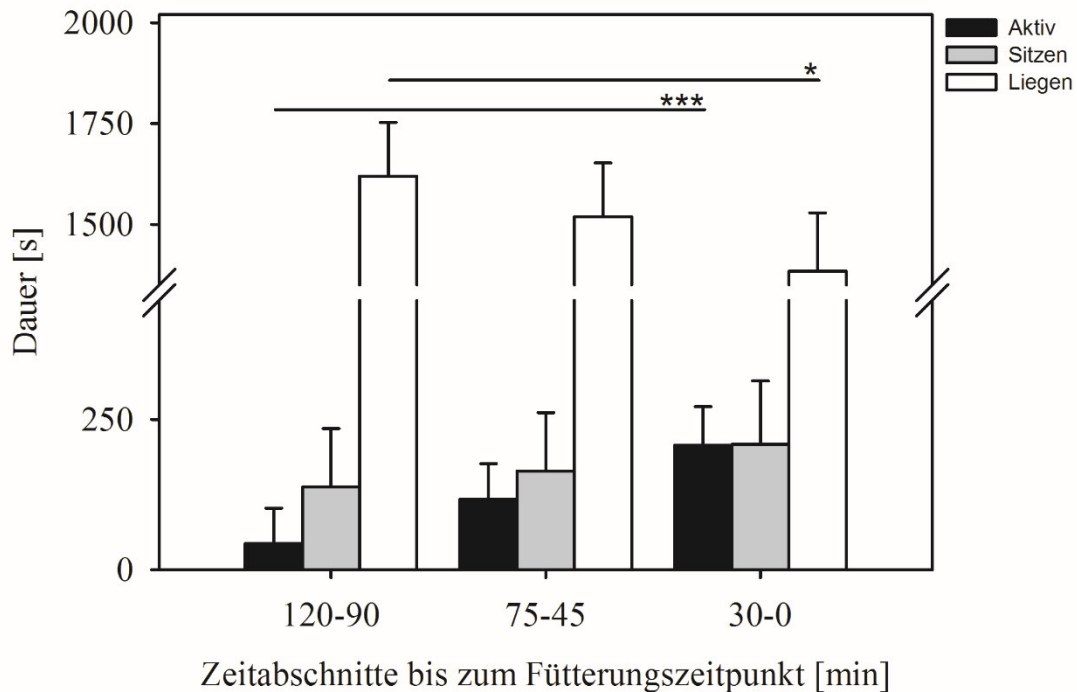


Abb. 28: Verhaltensdauer von „Aktiv“ (schwarz), „Sitzen“ (grau) und „Liegen“ (weiß) der FF-Gruppe über die drei Zeitabschnitte bis zum Fütterungszeitpunkt (0=Fütterungszeitpunkt).

In dem Zeitabschnitt (30-0 min) direkt vor der Fütterung zeigten die Tiere der FF-Gruppe weniger Liegeverhalten ($t=2,59$; $p<0,05$) aber dafür mehr aktives Verhalten ($t=4,05$; $p<0,001$), als in dem ersten Zeitabschnitt (120-90 min).

3.4 Gewichte

Diese Ergebnisse stützen sich auf die Daten von 16 Durchgängen. Der feste Faktor Lebenswoche beeinflusste die Körpergewichtsentwicklung signifikant ($F=3903,67$; $p<0,001$). Ebenso zeigte die Interaktion der Faktoren Lebenswoche und Durchgang signifikante Unterschiede in der Gewichtsentwicklung ($F=4,88$; $p<0,001$). Die Schweine wiesen am Ende der Versuchsperiode (10te Lebenswoche), mit $29\pm 8,79$ kg mehr als das Doppelte ihres Gewichts vom Beginn der Versuchsperiode auf ($11\pm 8,79$ kg; $t=132,41$; $p<0,001$).

Die Faktoren Durchgang und Behandlung hatten keinen Effekt auf die Endgewichte der Gehirne der Versuchstiere, die durchschnittlich $59,27\pm 1,0$ g wogen.

4 Diskussion

4.1 Übersicht

Die vorliegende Arbeit untersucht einen experimentellen Ansatz, bei dem Schweine (aufgeteilt in verschiedene Behandlungsgruppen) mit angekündigten (Tonsignal) oder unangekündigten positiven, negativen und ambivalenten Stimuli wiederholt gereizt wurden. Bei den konditionierten Behandlungsgruppen sollte durch den Einsatz des Tonsignals eine passive Antizipationshaltung seitens der Tiere aufgebaut werden. Die daraus resultierenden emotional-affektiven Reaktionen (kurz- und langfristig) wurden mit Hilfe von Verhaltens- und Herzaktivitätsanalysen erfasst und interpretiert. Diese Untersuchung von Emotionen und Stimmungen bei Tieren und somit das Kennenlernen der tierseitigen Bewertung der Umwelt bietet die Möglichkeit, mittels darauf aufbauender Vorschläge (z.B. angepasstes Fütterungs- und Handlungsmanagement) letztendlich das Wohlbefinden der Tiere zu erhöhen. Zu diskutieren sind die experimentelle Umsetzung des theoretischen Konzeptes (s. 4.2), die beobachteten Veränderungen der physiologischen Parameter und des Verhaltens der Tiere (s. 4.3) und die Methodik, d.h. die gewählten Parameter als Indikatoren von Emotionen und Stimmungen (s. 4.4).

4.2 Versuchsdesign - Reizauswahl

In diesem Versuchsdesign wurden die Tiere mit aus unserer Sicht positiv und negativ besetzten Reizen behandelt, um eine positive oder negative Emotion zu erzeugen und längerfristig eine dementsprechende Stimmung zu induzieren (Boissy et al., 2007b; Zebunke et al., 2011). Futter als positiven Reiz einzusetzen bot sich an, da Futter an sich als essentielle Ressource biologisch relevant ist (s. 1.3.2) und sich sehr leicht ohne menschliches Zutun elektronisch über den Futterautomaten verabreichen lässt (Mahnhardt et al., 2014). Dies war wichtig, da aufgrund des Versuchsdesigns eine gleichzeitige Fütterung von verschiedenen Behandlungsgruppen (z.B. AF und AKF/L) nötig war, um bei allen konditionierten Tieren eine Antizipationszeit von genau einer Minute zu gewährleisten. Darüber hinaus wurde auf eine besondere Futterbelohnung, wie z.B. Popcorn oder Haferflocken verzichtet um individuelle Vorlieben der Tiere auszuschließen. Es wurde das gewohnte Schweinefutter als positiver Reiz gewählt. Das Futter stellt eine essentielle Ressource dar und somit war die Motivation zur Futteraufnahme bei allen Tieren während des gesamten Versuches gegeben. Dieser Sachverhalt wurde zum Beispiel in einer Studie von Langbein et al. (2004) deutlich. Dort wurde bei Zwergziegen mit der Nutzung von Trinkwasser als Belohnung eine hohe Motivation zum Lernen aufrechterhalten.

Die Suche nach einem negativen Reiz gestaltete sich etwas schwieriger (s. Abschnitt 1.3.2). Die als Aversivreiz beschriebene Elektroschockmethode z.B. mit einem Viehtreiber (Hemsworth und Barnett, 1991) war hier aus Gründen der Beeinflussung der Herzaktivitätsaufnahmen ausgeschlossen. Ebenso war die soziale Separation der Tiere in einem anderem Raum in unserem Versuchsaufbau nicht durchführbar (Schrader und Ladewig, 1999). Auch sollte der Negativreiz elektronisch ansteuerbar sein ohne den Einfluss des Menschen, dadurch war das in der Studie von Douglas et al. (2012) erfolgreich an Schweinen getestete abrupte Wedeln mit einer Plastiktüte nicht möglich. Eine weitere Möglichkeit war ein kurzer Wasserstrahl, der erfolgreich an Hühnern getestet wurde (Zimmerman et al., 2011) aber ebenfalls in unserer Studie

nicht möglich war. In unserem Versuchsdesign wechselten die Schweine in einem Alter von fünf Wochen in den Versuchsraum des Tiertechnikums. Vorher erfolgte das Absetzen der Schweine, welches für die Tiere einen starken Stressor darstellt, da sie von der Mutter getrennt werden und auf Pelletfutter umgestellt werden. Daher bestand die Gefahr von Erkrankungen (z.B. Erkältungen), und es war nicht ratsam die Tiere sechsmal am Tag mit Wasser zu bespritzen. Somit entschieden wir uns für einen kurzen aber starken Luftstoß. Vorversuche zeigten auch Aversivreiz-entsprechende Verhaltensreaktionen bei den Tieren, wie z.B. Fluchtverhalten und das Ausweichen weg vom Reiz.

Insgesamt wird zurzeit gerade weltweit nach neuen milden aversiven Reizen für verschiedenste Untersuchungen geforscht. Hier erweist sich der Luftstoß als recht neues und probates Mittel. Zum einen wurde dieser Reiz bei Ratten und Mäusen erfolgreich eingesetzt und es konnte akuter psychologischer Stress erzeugt werden (Furlong et al., 2014; Liu et al., 2014), zum anderen wurde der Luftstoß als Negativreizung bei trächtigen Sauen verwendet (Manteuffel et al., 2014).

4.3 Herzaktivität und Verhalten

4.3.1 Einführung

Die Erfassung und Auswertung von Herzaktivität und Verhalten brachten unterschiedliche Herausforderungen mit sich. Bei den Verhaltensdaten flossen die Ergebnisse der Versuchstage vom Anfang der Messphase mit ein und nicht nur die Ergebnisse der Endtage wie bei der Herzfrequenzanalyse (s. Tab. 3). Der Grund dafür war, dass diese Anfangstage essentiell waren um die Verhaltensveränderungen der Tiere über den gesamten Messzeitraum zu detektieren (s. 3.2.4 Ergebnisse beim Fluchtversuch). Herzfrequenzmessungen am Anfang der Messphase waren hingegen kaum auswertbar, da durch starke körperliche Reaktionen (z.B. vermehrte Fluchtversuche) die Daten nicht nutzbar waren, da bei intensiver Bewegung die Elektrodengurte verrutschten und dementsprechend sehr viele Fehler (weit über 10 %) auftraten. Diese Erfahrung wurde schon in einer vorherigen Studie gemacht (Jaskulke und Manteuffel, 2011). Dort kam es direkt nach dem Einstellen der Versuchstiere häufig zu hohen Fehlerraten bei den Herzfrequenzmessungen (ca. 50 %), welche die 10 % Schwelle überschritten und damit zum Verwerfen der Daten führten. Auch ist die Messung der HR mit Polar® auf 240 bpm in ihrem Maximum beschränkt. Dieser Wert wurde öfter aufgrund des geringen Alters (Kuwahara et al., 1986) und der starken Erregung (Schouten et al., 1991; Imfeld-Mueller et al., 2011) bei der anfänglichen Negativreizgabe überschritten.

Um ein möglichst umfassendes Bild von den Reaktionen auf die verschiedenen Behandlungen zu erhalten, wurden die Verhaltensdaten über die gesamte Messphase (s. Tab. 2) aufgenommen. Trotz dieser Unterschiede werden im Folgenden die Ergebnisse der Herzaktivität und der Verhaltensbeobachtungen gemeinsam diskutiert, denn die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität werden maßgeblich von physischer Aktivität (Brenner et al., 1998; Langbein et al., 2004; Jaskulke und Manteuffel, 2011) beeinflusst, welche wiederum durch den Rückgang von parasympathischer Aktivität erst möglich wird. Der RMSSD-Parameter der Zeitbereichsanalyse wird hierbei als eindeutiger Indikator des Vagus angesehen (Boissy et al., 2007b). Der SDNN-Parameter hingegen reagiert sowohl auf Veränderungen der sympathischen, als auch auf Veränderungen der

parasympathischen Aktivität (Despres et al., 2002). Dies bedeutet, dass Aussagen über die Aktivität des Sympathikus nur indirekt gemacht werden können, z.B. wenn sich die HR ohne eine Veränderung vom RMSSD-Wert verändert, wenn SDNN- und RMSSD-Wert gegensätzliche Veränderungen zeigen oder wenn eine Verringerung der vago-sympathischen Balance (RMSSD/SDNN) auftritt, die für eine Verschiebung der Aktivität im ANS in sympathische Richtung sprechen würde.

Zum besseren Verständnis wurden in der nachfolgenden Tabelle Merkmale des Verhaltens, der HR und HRV zur Einschätzung von positiven und negativen subjektiven tierseitigen Bewertungen aus der Literatur zusammengefasst (Tab. 12).

Tab. 12: Übersicht über Parameter, die in der Literatur positiv oder negativ interpretiert wurden.

| Parameter | positive Valenz | negative Valenz |
|--|--|--|
| Verhalten | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Spielverhalten bei Schweinen (Dudink et al., 2006) ➤ Annährungsverhalten bei Füchsen (Moe et al., 2006) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Vermeidungsverhalten bei Schweinen (Imfeld-Mueller et al., 2011), wie z.B. Wegbewegen vom Stressor bei Schweinen (Ruis et al., 2000) und Füchsen (Moe et al., 2006) ➤ erhöhte Aktivität, wie z.B. erhöhte Lokomotion bei Schweinen (Dudink et al., 2006) ➤ Stereotypien, Aggression, Selbstverletzung bei Schweinen (Waitt und Buchanan-Smith, 2001) |
| Vokalisation | | <ul style="list-style-type: none"> ➤ hochfrequente Quicker oder Schreie (Weary et al., 1998; Taylor et al., 2001; Marchant-Forde et al., 2003; Duepjan et al., 2011) |
| Herzfrequenz (HR) [reflektiert eher die Aufregung (de Jong et al., 1998; Geverink et al., 2003; Zebunke et al., 2011)] | <ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>kurzfristig erhöht</u>: bei Schweinen (Schouten et al., 1991; Imfeld-Mueller et al., 2011), bei Weißbüscheläffchen (Braesicke et al., 2005) ➤ <u>Basalwert</u>: niedrig beim Menschen (Lee et al., 2005) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>kurzfristig erhöht</u>: beim Menschen (McCraty et al., 1995), beim Schaf (Reefmann et al., 2009b) ➤ bei Ratten z.B. bei Angst (Inagaki et al., 2004) ➤ <u>Basalwert</u>: z.B. durch dauerhafte Restriktion bei Schweinen erhöht (Marchant et al., 1997) |

Fortsetzung der Tabelle 12: Übersicht über Parameter, die in der Literatur positiv oder negativ interpretiert wurden.

| Parameter | positive Valenz | negative Valenz |
|---|--|---|
| <p>Herzfrequenzvariabilität (RMSSD, SDNN, RMSSD/SDNN) [reflektiert die Veränderungen in der vago-sympathischen Balance (Langbein et al., 2004; von Borell et al., 2007) und somit eher die Valenz]</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>kurzfristig erhöhte RMSSD:</u> bei Schweinen (Zebunke et al., 2011; Zebunke et al., 2013), beim Menschen (Matsunaga et al., 2009) ➤ <u>Basalwert: hohe RMSSD-Werte:</u> beim Menschen (Lee et al., 2005), allg. bei Tieren (Boissy et al., 2007b), bei Schweinen (Zebunke et al., 2011), bei Schafen (Reefmann et al., 2009b) ➤ <u>RMSSD/SDNN-Verhältnis</u> in Richtung RMSSD verschoben (wird vermutet) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>kurzfristig erhöhte SDNN:</u> beim Menschen (McCraty et al., 1995), beim Schaf (Reefmann et al., 2009b) ➤ <u>kurzfristig niedrige RMSSD:</u> beim Menschen (Kemp et al., 2010; Stapelberg et al., 2012) ➤ <u>Basalwert: niedrige RMSSD-Werte:</u> bei Zwergziegen (Langbein et al., 2003) ➤ <u>RMSSD/SDNN-Verhältnis</u> in Richtung SDNN verschoben beim Pferd (Vitale et al., 2013) |

4.3.2 Haupteffekte bei den Herz- und Verhaltensparametern

Bei allen Herzparametern und allen Verhaltensweisen außer Fluchtversuch, Zucken und Fressen konnte ein Durchgangseffekt festgestellt werden. Da die Umweltbedingungen bei allen Durchgängen gleich waren, ist dieser Effekt vermutlich auf die unterschiedlichen Ferkelwürfe zurückzuführen. Auch lag ein Einfluss des Versuchstages bei der Analyse der Herzparameter auf die akuten Behandlungen vor. Dieser resultiert wahrscheinlich aus der zusätzlichen Basalherzfrequenzaufnahme an den letzten drei Versuchstagen über die Mittagszeit, so dass sich zu den vorherigen zwei Tagen kleine Unterschiede im Mensch-Tier-Kontakt ergaben. Ebenso wurde bei allen Herzparametern außer der SDNN ein Tageszeiteffekt (Zeiteffekt) festgestellt. Dies beruht unter anderem darauf, dass die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität von Schweinen diurnalen Schwankungen unterliegen, die unter anderem mit einer langsamen Verschiebung der autonomen Aktivität in Richtung sympathischer Dominanz am Vormittag durch ansteigende Werte der sympatho-vagalen Balance, ansteigende Herzfrequenz und Verringerung der Aktivität des Vagus gekennzeichnet sind (Kuwahara et al., 1999).

Als Reaktion auf den Faktor Behandlung traten sowohl bei der Herzfrequenz als auch bei der SDNN signifikante Effekte auf. Des Weiteren hatte dieser Faktor einen eindeutigen Einfluss auf die Dauer und Häufigkeit aller Verhaltensweisen außer auf die Dauer des Aufsetzens (s. Anhang Tab. 26). Wie erwartet hatte die Messminute und die Interaktion zwischen Behandlung und Messminute hingegen auf alle Parameter der Zeitbereichsanalyse (s. Tab. 5) und auf die Dauer und Häufigkeit (s. Anhang Tab. 26,

27) der Verhaltensweisen einen signifikanten Einfluss. Diese Ergebnisse werden im Folgenden detailliert dargestellt.

4.3.3 Kurzfristige Veränderungen der Herz-und Verhaltensparameter

4.3.3.1 Überblick

Die kurzfristigen Effekte des Versuchsdesigns zeigten sich in den Ergebnissen der HR, HRV und des Verhaltens. Es wurde erwartet, dass positive und negative emotionale Reizungen die Herzfrequenz und das Verhalten unterschiedlich beeinflussen. Bei zwei der drei konditionierten Behandlungsgruppen konnten Veränderungen während der Antizipation (Tonsignal) im Vergleich zur Kontrollgruppe und bei allen Behandlungsgruppen direkte Reaktionen auf die Reizapplikation (Futter- oder Luftstoßgabe) erfasst werden.

Zusätzlich hatten die unterschiedlichen physischen Aktivitäten einen Einfluss auf die HR und HRV. In der Literatur ist bekannt, dass schon der Wechsel der Körperhaltung von Liegen zum Stehen eine Verschiebung der Balance im autonomen Nervensystem in Richtung sympathischer Kontrolle verursacht (Pagani et al., 1995). Auch in der vorliegenden Untersuchung lagen unterschiedliche physische Aktivitäten der Schweine in den untersuchten Messminuten vor. Aufgrund der Bewegungseinschränkung aller Tiere während der Messungen erfolgten die kurzfristigen Untersuchungen der HR und HRV unabhängig von der physischen Aktivität der Tiere. Im Folgenden wird der physische Aktivitätseinfluss auf die HR und HRV mitdiskutiert.

4.3.3.2 Affektive Antizipation

Mit Antizipationen gehen affektive Reaktionen einher (Bassett und Buchanan-Smith, 2007; Manteuffel et al., 2009b), die in Emotionen resultieren (s. Abschnitt 1.3.3). Verschiedene Studien haben gezeigt, dass Antizipation von Futter (bzw. Belohnungen) zu erhöhter physischer Aktivität und Aufmerksamkeit bei verschiedenen Tierarten führt (van der Harst et al., 2003; Vinke et al., 2004; Dudink et al., 2006; Moe et al., 2006; Zebunke et al., 2011). Auch die Tiere dieser Studie und zwar der Behandlungsgruppen AF und AKF/L haben einen externen Stimulus (Tonsignal) aufgrund der klassischen Konditionierung (Lang und Davis, 2006) mit Futter verknüpft. Die Tiere reagierten auf das Tonsignal mit einer affektiven Antizipationsreaktion, die mit starker Erregung und daher mit einer kurzfristigen direkten Aktivierung des sympathischen Nervensystems einhergeht (Robert et al., 2002; Braesicke et al., 2005; Zebunke et al., 2013).

In einer Studie zu Weißbüscheläffchen wurde die sympathische Aktivierung in Erwartung einer Futterbelohnung als Indikator einer positiven emotionalen Aufregung interpretiert (Braesicke et al., 2005). Bei einem Versuch zur Angstkonditionierung von Ratten hingegen wurde die sympathische Aktivierung als Indikator für negative Emotionen angesehen (Inagaki et al., 2004). Daher reicht dieser Parameter allein nicht aus, um einen Reiz als positiv oder negativ zu interpretieren, sondern es sollten weitere Merkmale, wie z.B. das Verhalten mit einbezogen werden (von Borell et al., 2007).

Dementsprechend wurde bei den **angekündigt positiv** gereizten Tieren (AF) eine Erhöhung der Herzfrequenz und der RMSSD während der Tonsignalminute und im Verhalten eine erhöhte Aktivität erwartet. Die Tiere dieser Gruppe zeigten auch einen

Anstieg der Herzfrequenz und der SDNN im Vergleich der Minute vor dem Ton zur Tonminute, und gleichzeitig einen Abfall im RMSSD/SDNN-Verhältnis (s. Abb. 11, 13, 14). Zusammenfassend spricht dies für eine antizipationsinduzierte sympathische Aktivierung des Herzens (Despres et al., 2002; Zebunke et al., 2011; Mahnhardt et al., 2014). Diese Interpretation wird durch eine signifikante Erhöhung der Dauer der regen Verhaltensweisen, wie Aufsetzen, Stehen und Aktivität und somit Warten und Mobilisierung des Organismus auf das kommende Futter (s. Abb. 26, auch: Braesicke et al., 2005) gestützt. Aufgrund der Ergebnisse wird von einer erfolgreichen Konditionierung auf das Tonsignal ausgegangen. Des Weiteren ist wie schon erwähnt die Mobilisierung des Organismus mit einer Aktivierung des Dopaminsystems gekoppelt (s. 1.3.2) und laut Spruijt et al. (2001) durch Rückgang der vagalen Aktivität und auftretendes aktives Verhalten gekennzeichnet. Das rege Verhalten konnte nachgewiesen werden, aber die Ergebnisse der RMSSD der Tonminute zeigen keinerlei Änderungen (s. Abb. 12, 16A). Eventuell könnte eine gegenseitige Aufhebung hier der Grund für unveränderte RMSSD-Werte sein, so dass sich der positive Effekt der Futtererwartung mit Anstieg der RMSSD mit dem gleichzeitigen Rückgang der RMSSD aufgrund der Mobilisierung des Organismus aufhob. Da der Vagus als Hauptregulator im ANS sehr schnell (im Millisekundenbereich) von einem Herzschlag auf den nächsten reagiert (Porges, 1995a; Porges, 1995b), könnte die eben beschriebene gegenseitige Aufhebung in den gewählten 1-Minuten-Intervallen untergegangen sein.

Bei der Darstellung der Differenz aus Min-vor-Ton und Tonminute war der Herzfrequenzanstieg der AF-Gruppe signifikant höher als im Vergleich zu allen anderen konditionierten Behandlungsgruppen (AL, AKF/L) und zur FF-Gruppe als Kontrolle (s. Abb. 15). Der SDNN-Anstieg war bei der AF-Gruppe signifikant höher als bei der AL- und der FF-Gruppe (s. Abb. 16B). Die Änderung vom RMSSD/SDNN-Verhältnis der AF-Gruppe unterschied sich von der AL-Gruppe signifikant und von der FF-Gruppe nur tendenziell (s. Abb. 17). Dies bedeutet, dass sich die angekündigte Reizung mit Futter klar von den anderen konditionierten Behandlungen unterschied. In den HR- und SDNN-Werten gab es bei dieser Gruppe den höchsten Anstieg. Das deutet laut verschiedener Studien (Schouten et al., 1991; Braesicke et al., 2005; Imfeld-Mueller et al., 2011) darauf hin, dass die Tiere sehr aufgeregt waren. Diese Aufregung lässt sich nach dem emotionalen Grundmodell (s. Abb. 2) von Mendl et al. (2010) entweder in Quadrant 1 (positiver affektiver Zustand) oder in Quadrant 4 (negativer affektiver Zustand) aufgrund der hohen Erregung einteilen. Da aber Futter an sich schon positiv belegt ist (s. 4.2), und kein Absinken der RMSSD während der Antizipationszeit auftrat, welches für eine negative Valenz sprechen würde (Vitale et al., 2013), ist eine Einteilung in Quadrant 1 plausibel. Es lässt sich schlussfolgern, dass eine positive emotionale Reizung während der Antizipation induziert wurde und diese Ergebnisse auf einen positiven affektiven Zustand bei den Tieren hindeuten, welcher mit einer starken Erregung und einer Aktivierung des sympathischen Nervensystems einherging.

Bei den **angekündigt negativ** gereizten Tieren (AL) wurden im Vergleich zu den zufällig aversiv stimulierten Tieren eine höhere sympathische Aktivierung und geringere RMSSD vor der Applikation des Reizes und Verhaltensweisen wie Fluchtversuch oder Ausweichen vermutet. Die Tiere wiesen aber weder in der Minute vor dem Tonsignal noch in der Tonminute selbst signifikante Veränderungen auf (s. Abb. 11, 12, 13, 14). Diese Messwerte ähneln denen der Kontrollgruppe, und es

wurden keine Unterschiede im Vergleich zu den zufällig negativ gereizten Tieren festgestellt. Es fand keine Aktivierung des Organismus während der Ankündigung des kommenden Luftstoßes statt. Das Verhalten während des Tonsignals ähnelte ebenso dem der Kontrollgruppe (s. Abb. 26). Es konnten keine antizipationsinduzierten Unterschiede in den Herzfrequenzparametern und dem Verhalten ermittelt werden. Es wurde keine eindeutige affektive Antizipationsreaktion deutlich.

Im Vergleich zu den angekündigt negativ oder positiv stimulierten Tieren, wurde erwartet, dass die Tiere mit **ambivalenter Reizung** (AKF/L) Reaktionen aufweisen, die den zufällig aversiv gereizten Tieren gleichen, weil eine qualitative Antizipation nicht gegeben ist. Auch wurde Frustrationsverhalten nach der Luftstoßreizapplikation erwartet, da das Futter ausblieb. Die Tiere der AKF/L-Gruppe zeigten aber andere Resultate. Nur in dieser Behandlungsgruppe konnte ein Anstieg des RMSSD-Parameters und der SDNN im Vergleich der Minute vor dem Ton zur Tonminute (s. Abb. 12, 13) detektiert werden, was auf eine deutliche Parasympathikus-Aktivierung schließen lässt. Hier spiegelt sich der positive Effekt der Futtererwartung wider, trotz vorkommender negativer Reizung. Gleichzeitig ist eine sympathische Aktivierung des Herzens wahrscheinlich, obwohl keine Herzfrequenzerhöhung detektiert wurde, denn obwohl die RMSSD- und SDNN-Parameter anstiegen, stieg das RMSSD/SDNN-Verhältnis nicht an. Daher kann davon ausgegangen werden, dass neben der parasympathischen Aktivierung auch eine sympathische Aktivierung stattfand. Diese Vermutung wird durch die Verhaltensbeobachtungen ergänzt, denn die aktiven Verhaltensweisen, welche laut Pagani (1995) immer mit einer Sympathikus-Aktivierung einhergehen, nahmen zu. Dies spricht ebenfalls für eine positive Einstellung der Schweine gegenüber dem Tonsignal, denn sie wiesen ein ähnliches Verhalten auf wie die angekündigt positiv stimulierten Tiere, obwohl nur eine 50%ige Chance auf Futterbelohnung bestand. Wie unter 1.3.2 schon erläutert wurde, lässt sich dieses Verhalten durch den Umstand erklären, dass Futter hier eine essentielle Ressource ist und Schweine insgesamt eine hohe Motivation für den Futtererwerb besitzen (Matthews und Ladewig, 1994; Day et al., 1995). Zusätzlich konnte in diesem Versuch kein Hinweis gefunden werden, dass Schweine eventuell über den Tag verteilte spezielle Reize zählen können. Im Falle der hier diskutierten Konfliktreizung (täglich randomisiert: dreimal Futtergabe, dreimal Luftstoßgabe) setzten sich die Tiere beim nächsten Tonsignal auch dann noch in Futtererwartung auf, wenn sie bereits dreimal Futter erhalten hatten (s. Tab. 11, Abb. 26). Aufgrund dieser Ergebnisse ist davon auszugehen, dass eine positive emotionale Reizung während der Antizipation, ähnlich wie bei der AF-Gruppe, induziert wurde und in einem positiven affektiven Zustand bei den Tieren resultierte.

Die **Kontrollgruppe (FF)** reagierte, wie erwartet, weder in den Herzfrequenzparametern noch in Verhaltensreaktionen auf das Tonsignal. Die Tiere hatten keine Erwartungshaltung mit dem Tonsignal verknüpft. Dieser Sachverhalt wurde in der Studie von Ernst et al. (2005) ebenfalls beobachtet. Hier wurde Schweinen in Gruppenhaltung je ein individuelles Tonsignal zugeordnet, mit dem sie zu einem Fütterungsautomaten gerufen wurden. Die Tiere, die nicht gerufen wurden, blieben liegen. In einer darauffolgenden Studie wurden auch die Herzfrequenzparameter erfasst, und deren Ergebnisse (Zebunke et al., 2011) decken sich mit unseren. Die Behandlungsgruppen RL und RF ließen sich hier nicht zusätzlich als Kontrolltiere für die Reaktion auf das Tonsignal verwenden, da sich die

randomisierten Zeiten für Futter- bzw. Luftstoßgabe mit den Zeiten des Tonsignals der konditionierten Gruppen überschneiden konnten.

4.3.3.3 Reaktionen auf die Reizapplikation

Futtergabe: Insgesamt reagierten wie erwartet alle Behandlungsgruppen mit einer **positiven Reizung** (AF, AKF/L und RF) auf den extrinsischen Stimulus Futter mit einem Anstieg der Herzfrequenz (Marchant et al., 1997; Geverink et al., 2002; Geverink et al., 2003; Zebunke et al., 2011; Mahnhardt et al., 2014), (s. Abb. 11). Bei diesen Tieren wurden die Herzaktivität stark parasympathisch beeinflusst, was durch einen signifikanten Abfall der RMSSD (s. Abb. 12), und bei den Gruppen AF und AKF/L auch bei der SDNN (s. Abb. 13) angezeigt wurde (Parasympathikus-Reduzierung). Diese Reduzierung fand statt, um eine Mobilisierung des Organismus für die Futteraufnahme zu gewährleisten. Um die Konsumphase (aktive Futteraufnahme) näher zu beschreiben, wäre es nötig gewesen die weiteren nachfolgenden Minuten zu erfassen. Diese hätten wahrscheinlich einen Anstieg des Parasympathikus (RMSSD) aufgrund der Aktivierung des Verdauungssystems während des Fressens angezeigt (Porges, 1995a; Teff, 2008). Dann wäre bei der AF-Gruppe im Vergleich zu den zufällig gefütterten Tieren (RF) eine höhere parasympathische Aktivierung nach Futtergabe infolge der Vorbereitung (Tonsignal) auf den Fressakt zu erwarten gewesen.

Die **zufällig gefütterten** Schweine (RF) wiesen eine signifikante Verschiebung des RMSSD/SDNN-Verhältnisses in Richtung Sympathikus auf (s. Abb. 14). Zusammenfassend sprechen die Ergebnisse in dieser Behandlungsgruppe nicht nur, wie bei den anderen beiden Gruppen, für eine Reduzierung des parasympathischen Einflusses sondern auch für eine Aktivierung des Sympathikus, da der SDNN-Parameter sich nicht veränderte, obwohl die RMSSD sank. Da die SDNN beide Zweige des ANS beinhaltet, ist somit zusätzlich von einer sympathischen Aktivierung auszugehen, welches sich auch im RMSSD/SDNN-Verhältnis widerspiegelt. Dieser Unterschied der RF-Gruppe zu den Behandlungsgruppen AF und AKF/L lässt sich aufgrund der unterschiedlichen Behandlung erklären. Die Tiere der RF-Gruppe lagen zumeist und wurden aufgrund der Futterausgabe physisch aktiv, während diese physische Aktivität der Tiere der anderen beiden Behandlungsgruppen (AF und AKF/L) schon meist in der Tonsignalminute stattfand und sich nun nicht mehr in den Ergebnissen nach erfolgter Futtergabe wiederfinden. Das Liegeverhalten in der RF-Gruppe nahm dementsprechend signifikant von der Minute vor dem Ereignis zur Minute nach dem Fütterungsereignis ab und das Fressverhalten signifikant zu (s. Anhang Tab. 29).

Luftstoßgabe: Bei den **ambivalent gereizten** Tieren (AKF/L) wurde wie erwartet eine erhöhte Aktivität (s. Tab. 11) im Verhalten nach der Luftstoßgabe beobachtet. In der Verhaltensweise Aktivität war das Explorationsverhalten miteingeschlossen (s. Tab. 3). Die Verhaltensweise Exploration kann drei verschiedene Motivationen für Schweine haben (Studnitz et al., 2007). Zum einen begehrendes Verhalten nach Futter, dieses ist vom akuten Bedarf nach Futter geprägt (Konsum-Exploration). Ein zweiter Grund ist die Neugierde, dieser ist intrinsisch motiviert und nicht durch einen akuten Bedarf. Die Neugierde dient zur Gewinnung von Informationen über die Umwelt und deren verfügbare Ressourcen und kann somit die Ungewissheit verringern. Als dritte

ebenfalls intrinsische Motivation für die Verhaltensweise Exploration, ist die Reduzierung von Langeweile anzusehen. Dies tritt vor allem bei Schweinen in einer reizarmen Umwelt auf (Studnitz et al., 2007). Bei unseren Versuchstieren könnte demzufolge die erhöhte Aktivität mit der Futtersuche zusammengehangen haben, da das für die Schweine zweideutige Tonsignal zuvor erfolgte und kommendes Futter erhofft wurde. Auch wurde insgesamt kein erwartetes Frustrationsverhalten (Verhaltensweisen, die erregungsabbauende Funktionen haben, wie z.B. vermehrtes Beißen in den Trog (Dantzer, 1991)) beobachtet.

Bei den **angekündigt negativ**-stimulierten Tieren (AL) wurden kurzfristig durch den Luftstoß negative Emotionen erwartet, die sich theoretisch durch steigende HR- und SDNN-Werte äußern (McCraty et al., 1995; Reefmann et al., 2009b). Die Tiere wiesen als Folge der Reizapplikation auch in der SDNN einen signifikanten Anstieg auf (s. Abb. 13). Dies lässt auf eine sympathische Aktivierung schließen, da das RMSSD/SDNN-Verhältnis ebenfalls signifikant absank (s. Abb. 14), welches für eine Verschiebung der autonomen Balance in Richtung sympathischer Kontrolle steht (Vitale et al., 2013). Dies widerspricht jedoch den Resultaten bei der Herzfrequenz, die sich nicht signifikant erhöhte (s. Abb. 11). Die Ergebnisse der Herzparameter wurden am Versuchsende aufgenommen, und sprechen somit dafür, dass die Tiere an den Luftstoß habituierten. Dies bedeutet, dass der gewählte Aversivreiz über die Versuchsdauer einen Teil der Aversivität verlor, da er für die Tiere angekündigt wurde, was zur Entwicklung einer Präpulsinhibition führte. Die Präpulsinhibition beschreibt den Umstand, dass eine Schreckreaktion auf einen erfolgten Schreckreiz abgemildert (inhibiert) wird, wenn zuvor ein schwächerer Reiz („Präpuls“) z.B. ein Tonsignal auftritt (Braff et al., 2001). Dieser Sachverhalt zeigte sich nicht nur beim Menschen, sondern wurde auch schon bei Ratten (Koch und Schnitzler, 1997; Rybalko et al., 2011) und Meerschweinchen (Emack und Matthews, 2011) untersucht. Unseren Versuchstieren wurde zuverlässig durch das Tonsignal der kommende Luftstoß angekündigt, so dass die Tiere nicht so stark erschrecken wie die Tiere der unangekündigten Luftstoßgruppe (RL).

Der Luftstoß wurde aber trotz der abmildernden Ankündigung als Aversivreiz wahrgenommen, denn im Verhalten reagierten die Tiere insgesamt über alle getesteten Versuchstage mit einer signifikanten Erhöhung der Aktivität (s. Tab. 10). Hierbei handelte es sich vorrangig um Exploration, das heißt die Untersuchung der Umgebung mit der Rüsselscheibe. Dies kann wie schon erwähnt als Beschäftigung mit der Umwelt, als Futtersuche oder in diesem Fall möglicherweise als Erregungsabbau, aufgrund des Erschreckens interpretiert werden (Montgomery, 1955; Dantzer, 1991), denn die insgesamt auftretenden Fluchtversuche, das Zusammenzucken und das Ausweichen weg vom Luftstoß sind Zeichen, die für ein Erschrecken der Tiere aufgrund des Luftstoßes sprechen (s. Tab. 9). Daher wäre die Exploration der Umgebung in diesem Fall als Übersprungsverhalten anzusehen, denn durch den Luftstoß könnten zwei einander entgegengesetzte Instinkte (Angriff oder Flucht) gleichzeitig bei den Tieren ausgelöst worden sein, und die freigesetzte Energie „sprang“ in eine Verhaltensweise (Exploration) „über“, die wiederum zu einem dritten Instinkt (Futtersuche) gehörte (Lorenz, 1939; Tinbergen, 1952).

Die Schweine mit **randomisiertem Aversivreiz** (RL) wiesen als Ergebnis der Reizapplikation in der SDNN einen signifikanten und in der Herzfrequenz einen tendenziellen Anstieg auf, sowie im RMSSD/SDNN-Verhältnis einen signifikanten Abfall (s. Abb. 11, 13, 14). Diese Resultate lassen auf eine sympathische Aktivierung

schließen mit einer Verschiebung der autonomen Balance in Richtung sympathischer Kontrolle, da sich der RMSSD-Wert nicht veränderte. Dies entsprach vollständig den Erwartungen, da negative Emotionen mit steigenden HR- und SDNN-Werten verknüpft werden (McCraty et al., 1995; Reefmann et al., 2009b). Da die Tiere von allen Behandlungsgruppen die höchste Liegedauer aufwiesen, waren diese Herzparameter kaum durch die physische Aktivität beeinflusst (s. Tab. 9) und spiegelten somit den psychischen Zustand mit wenigen zusätzlichen Einflüssen wider. Da bei dieser Behandlung die Reizung nicht angekündigt wurde, aber diese aufgrund der über die Versuchstage erlernten Erfahrungen höchstwahrscheinlich erwartet wurde, blieb eine innere Anspannung über die Versuchstage erhalten. Es gab für die Tiere keinen Anhaltspunkt, wann genau die Luftstoßgabe erfolgen würde. Das Erschrecken konnte hier nicht durch das Phänomen Präpulsinhibition abgemildert werden, wie es bei der AL-Gruppe der Fall war. Es lässt sich schlussfolgern, dass die Versuchstiere der Behandlungsgruppe mit randomisierten Luftstößen diese Situation negativ bewertet haben und dementsprechend mit wiederholten negativen Reizungen negative emotional-affektive Zustände induziert werden konnten (Boissy et al., 2007b).

Bei den Tieren der **Kontrollgruppe** (FF) wurden keine Reaktionen in den Herzparametern und im Verhalten während der Messminuten nach erfolgter Futter- oder Luftstoßgabe der anderen Behandlungsgruppen erwartet. Dennoch reagierten die Schweine in der Minute nach erfolgter Luft- bzw. Futtergabe der nicht konditionierten Gruppen (RF, RL) mit einer Erhöhung der Herzfrequenz (s. Abb. 11) und einer Verschiebung des RMSSD/SDNN-Verhältnisses in Richtung sympathischer Kontrolle (s. Abb. 14). Letzteres erfolgte auch in den Messminuten nach dem Tonsignal der konditionierten Gruppen (AF, AL, AKF/L). Diese Reaktionen der Kontrolltiere könnten an der erhöhten körperlichen Aktivität der anderen Behandlungsgruppen als Folge der Futter- und Luftstoßgabe liegen. Diese Aufregung im Raum könnte sich auf die Kontrolltiere übertragen haben, denn die Kontrolltiere lagen insgesamt signifikant weniger ($p < 0,001$) in der Min-nach-Ton ($38,46 \pm 1,92$ s) als im Vergleich zur Tonminute ($50,32 \pm 1,92$ s). Dies spricht für eine körperliche Aktivierung.

4.3.4 Längerfristige Veränderungen

4.3.4.1 Überblick

Die langfristigen physiologischen und ethologischen Effekte des Versuchsdesigns zeigten sich in den Ergebnissen der HR, HRV (Zeitbereichsanalyse) und des Verhaltens. Es wurde erwartet, dass wiederholte positive und negative emotionale Reizungen in dementsprechenden Stimmungsveränderungen resultieren, die sich in den Ergebnissen der Basalherzparameter und des Verhaltens ausdrücken. Die Basalwerte von HR und HRV wurden von jedem Tier vor Beginn der Konditionierung an drei Tagen und an den letzten drei Tagen jedes Versuchsdurchgangs während der Mittagsruhezeit erhoben. Die physische Aktivität der Tiere hatte hier keinen Einfluss auf die Herzparameter, da nur Datenaufzeichnungen verwendet wurden, bei denen die Tiere lagen. Daher spiegeln diese Daten den psychischen Zustand der Tiere wieder. Aufgrund des zunehmenden Gewichtes (von $11,03 \pm 8,79$ kg auf $29,36 \pm 8,79$ kg) wurde langfristig eine generelle Abnahme der Basalherzfrequenz (BHR) und Basalherzfrequenzvariabilität (BHRV) in allen Behandlungsgruppen erwartet

(Kuwahara et al., 1986; Schwartz et al., 1991; Webster und Jones, 1998; Zebunke, 2009). Diese Erwartungen konnten nicht bestätigt werden, sondern die einzelnen Behandlungsgruppen zeigten unterschiedliche Resultate.

4.3.4.2 **Basale Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität sowie Verhalten**

Vor allem bei den **positiv antizipierenden** Tieren (AF) wurden langfristig niedrigere Basalherzfrequenzen mit zusätzlich erhöhter RMSSD und somit einer Verschiebung der Balance in Richtung parasympathischer Kontrolle für erhöhtes Wohlbefinden und positive Stimmungsänderung erwartet (s. Tab. 12). Anstatt dessen wurde bei allen **positiv gereizten** Tieren (AF, AKF/L, RF) ein Basalherzfrequenzanstieg (s. Abb. 18) und keine erhöhten RMSSD-Werte (s. Abb. 19) im Vergleich zur Kontrollgruppe aufgezeigt. Die Ursache könnte in einer Dauererregung dieser Tiere, aufgrund der ständigen Erwartung des kommenden Futters und an dem experimentellen Ablauf (tägliche sechsmalige physiologische „Aktivierung“) liegen. Die Tiere wurden demnach in dieser Haltungsumwelt stärker durch das experimentelle Design beansprucht und zeigten insgesamt weniger Liegeverhalten als die anderen Behandlungsgruppen (AL, RL, FF; s. Tab. 9). Hier muss angemerkt werden, dass bei Schweinen in der Nutztierhaltung eine Liegedauer von 85% pro Tag nicht ungewöhnlich ist (Signoret, 1969; Jaskulke und Manteuffel, 2011). Dementsprechend könnten die Daten die tägliche körperliche Aktivierung des Organismus widerspiegeln.

Bei den **angekündigt negativ gereizten** Tieren (AL) wurde langfristig eine Verschiebung der autonomen Balance in Richtung sympathischer Kontrolle vermutet, einhergehend mit einer Reduzierung der RMSSD und trotz des zunehmenden Gewichtes gleichbleibenden oder erhöhten Basalherzfrequenzen. Im Verhalten sollten zum Ende des Versuches Frustrationsverhalten und erste Anzeichen von Stereotypien auftauchen. Ähnliche aber nicht so stark ausgeprägte Ergebnisse wurden bei den **zufällig negativ gereizten** Tieren (RL) erwartet, da hier die Vorbereitung durch das Tonsignal fehlte und so auch keine so starke innere Anspannung wie bei der AL-Gruppe aufgebaut werden konnte. Bei beiden Gruppen wurde eine negative Stimmungsänderung vermutet (s. Tab. 12). Doch entgegen den Erwartungen konnte bei den Behandlungsgruppen keine Erhöhung sondern sogar eine eindeutige Abnahme der Basalherzfrequenz festgestellt werden (s. Abb. 18). Dies spricht eher für eine positive Stimmung, denn laut Lee et al. (2005) wurden niedrigere Basalherzfrequenzen bei Menschen mit positiver Stimmung in Verbindung gebracht.

Wiederum zeigen die Ergebnisse im Verhalten zum Versuchsanfang die negative Bewertung des Luftstoßreizes seitens der Tiere. Bei allen **negativ gereizten** Tieren (AL, RL, AKF/L) traten die Verhaltensweisen Fluchtversuch und das Ausweichen weg vom Reiz auf (s. Abb. 27 Tag 7). Über die folgenden Versuchstage zeigten dann diese drei Behandlungsgruppen bei der Luftstoßgabe im Verhalten Bewältigungsstrategien. Diese Verhaltensreaktionen eines Individuums auf eine wahrgenommene Bedrohung bzw. aversive Reize werden als *coping* definiert und sollen Effekte reduzieren, die sich negativ auf die Fitness auswirken (Wechsler, 1995). Das dementsprechende „*Coping-Predictability*-Konzept“ basiert darauf, dass bei zunehmenden Wiederholungen von ähnlichen Belastungen eine Änderung der Stressreaktion auftritt (Kvetnansky, 1984). Dies wiederum soll die *Coping*-Fähigkeit des Organismus begünstigen (Wiepkema und Koolhaas, 1992; Ladewig et al., 1994). Die *Coping*-Strategien der Tiere wechselten über die Versuchstage von aktiv zu passiv,

sodass eine Habituation an den Luftstoß stattfand. Bei der Habituation sind assoziative Lernprozesse mit einem Aufbau eines persönlichen „Erfahrungsschatzes“ gekoppelt und im Falle einer wiederholten Konfrontation mit weniger intensiven Stressoren verringert sich die Stressreaktion oder bleibt ganz aus (Wiepkema und Koolhaas, 1992; Ladewig et al., 1994). Dies entspricht ganz dem Allostase-Konzept, bei dem wichtige Faktoren für die koordinierte Stressanpassung Erfahrungen, Erinnerungen und Emotionen sind (s. 1.2.1). Beim Prinzip der Allostase „Stabilität durch Veränderung“ sind die internen Referenzwerte variabel und können den erwarteten Umweltbedingungen und Anforderungen angepasst werden, um eine optimale Funktionsweise bei minimalen biologischen Kosten zu gewährleisten (Korte et al., 2007). Dabei ist diese Anpassung (Habituation) immer Stressor-spezifisch (Kant et al., 1985) ist, denn sehr starke oder nicht zu bewältigende Stressoren führen zu keiner Gewöhnung und die Belastungsantwort bleibt unverändert oder es kommt zu einer verstärkenden Sensibilisierung (Arthur, 1987; Konarska et al., 1990).

Die vor allen am Versuchsbeginn auftretenden Verhaltensweisen Fluchtversuch und Ausweichen als Reaktion auf den Luftstoß sind hierbei als Versuch eines aktiven Bewältigungsverhaltens anzusehen, da die Tiere dem aversiven Reiz durch die Bewegungseinschränkung nicht ausweichen konnten, wobei Fluchtversuche als Indikatoren höchster Erregung gewertet werden (von Borell und Ladewig, 1992). Das Verhalten Zucken im Sinne von Zusammenzucken, welches zum Versuchsende hin zunahm, ist als passives Bewältigungsverhalten anzusehen (Koolhaas et al., 1986; Korte et al., 1992) (s. Abb. 27). Die Tiere habituierten dementsprechend an den Luftstoß. Insgesamt konnte bei keiner Behandlungsgruppe mit Luftstoßreizung ein erwartetes Frustrationsverhalten oder stereotype Verhaltensweisen aufgrund der andauernden Aversivreizungen beobachtet werden. Dabei wird als typisches Frustrationsverhalten bei Schweinen das Beißen in die Gitterstäbe oder das Scheinkauen beschrieben (Dantzer, 1991; Arellano et al., 1992). Stereotypien werden allgemein als sich wiederholende, gleichbleibende, ohne erkennbares Ziel oder Funktion ausgeführte Verhaltensweisen bezeichnet (Rushen et al., 1990; Mason, 1991; Arellano et al., 1992; Meehan und Mench, 2007). Diese stereotypen Verhaltensweisen können dabei z.B. auch aus vergeblichen Versuchen Futter zu erreichen entstehen (Mason et al., 2007) und entwickeln sich oft unter längerfristigen restriktiven Haltungsbedingungen (Toates, 2004).

4.3.4.3 *Veränderungen der autonomen Balance*

Alle Versuchstiere wurden während der Messungen in ihrer Bewegung eingeschränkt. In der messungsfreien Zeit waren die Tiere in Einzelhaltung untergebracht, welche akustischen und taktilen Kontakt aber keinen vollen körperlichen Kontakt ermöglichte. Bei allen Behandlungsgruppen kam es laut den Ergebnissen des RMSSD/SDNN-Verhältnisses zu einer deutlichen Verschiebung des autonomen Gleichgewichts in Richtung Sympathikus (s. Abb. 23). Dies stimmt mit einer Studie bei Pferden überein, bei denen ebenfalls durch Bewegungseinschränkung eine erhöhte Sympathikusaktivität festgestellt wurde (Vitale et al., 2013). Eine Verschiebung in Richtung vorherrschender sympathischer Kontrolle wird allgemein mit einer negativen Belastung der Tiere in Verbindung gebracht (Porges, 1995a; Thayer und Sternberg, 2006). Ebenfalls wurde eine generelle Abnahme der basalen RMSSD festgestellt (s. Abb. 19), welche alle Behandlungsgruppen betraf, und laut Langbein et al. (2003) kann dieser Sachverhalt als Zeichen für chronischen Stress gedeutet werden.

Bei Untersuchungen zu HPA-Achsen-Parametern unserer Versuchstiere konnte jedoch kein chronischer Stress aufgrund der Haltung nachgewiesen werden (Brietzke et al., 2013; Mahnhardt et al., 2014).

Dieser Sachverhalt wird auch von den Resultaten des LF/HF-Verhältnisses (s. Abb. 24) bestätigt, welche ebenfalls eine Verschiebung der autonomen Balance in Richtung Sympathikus bei den Gruppen AKF/L, RL, RF und FF anzeigen. Auf die Behandlungsgruppen AL und AF trifft dies bei diesen Ergebnissen nicht zu, was an der eindeutigen Behandlung liegen könnte. Beide Gruppen hatten zum Ende des Versuches hin erlernt, dass das Tonsignal ganz klar Futter bzw. einen Luftstoß ankündigte. Durch dieses „Wissen“ könnten laut Badia et al. (1979) schon das Wohlbefinden der Tiere beeinflusst und dementsprechend die Basaldaten verändert worden sein.

Insgesamt war die restriktive Unterbringung nicht so bewegungseinschränkend gestaltet wie zum Beispiel die Haltung in Stoffwechselläufigen (Barnett et al., 1991; Arellano et al., 1992; Jaskulke und Manteuffel, 2011). Das Fehlen von Beschäftigungsmöglichkeiten (Veissier und Boissy, 2007) und keinerlei Kontrolle über die Umwelt oder Fütterung (s. 4.4), könnte von den Tieren aller Behandlungsgruppen negativ bewertet worden sein.

Besonderes Augenmerk ist hier auf die **AL-Gruppe** zu legen. Diese Gruppe wies eine weniger ausgeprägte Verschiebung der autonomen Balance in Richtung sympathischer Kontrolle im Vergleich zu der Kontrollgruppe und zu allen weiteren Behandlungsgruppen beim RMSSD/SDNN-Verhältnis und bei der basalen RMSSD auf. Hinzukommend fiel bei den kurzfristigen Ergebnissen dieser Gruppe auf, dass sie in ihrer Herzreaktion auf die Behandlung stark denen der Kontrollgruppe glich und es konnte keine negative Antizipationsreaktion, gekennzeichnet durch Fluchtversuche oder hohe Herzfrequenz mit gleichzeitiger RMSSD-Abnahme während des Tonsignals festgestellt werden. Es ist wahrscheinlich, dass die Tiere die festen Fütterungszeiten antizipierten und das Tonsignal als Präpuls genutzt haben, so dass aufgrund dieser Ankündigung der Luftstöße der negative Charakter stark abgeschwächt wurde und die Tiere zwischen den Tonsignalen entspannen konnten. Somit scheinen die Tiere der AL-Gruppe vollständig entgegen unseren Erwartungen im Vergleich zu allen anderen Behandlungsgruppen in diesem Versuchsdesign, die am schwächsten ausgeprägte negative Belastung zu haben.

Die **Kontrollgruppe** (FF-Gruppe) konnte wie die AL-Gruppe zwischen ihren zwei festen Fütterungszeiten entspannen und wurde auch nicht aversiv gereizt. Daraus schlussfolgernd hätte die Belastung der Kontrollgruppe schwächer negativ ausgeprägt sein müssen, als bei der AL-Gruppe. Dies war jedoch nicht der Fall (s. Abb. 19 und 23). Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass das Tonsignal für die Kontrolltiere im Gegensatz zur AL-Gruppe keine Bedeutung hatte, dementsprechend keine Lernleistung seitens der Kontrollgruppe dahingehend möglich war. Schweine verfügen über verhältnismäßig hoch entwickelte Gehirne und ein großes Lernvermögen (Ernst et al., 2005; Puppe et al., 2007; Manteuffel et al., 2009a; Mendl et al., 2010b; Manteuffel et al., 2011; Kirchner et al. 2012). Diese Lernleistung fehlte bei den Kontrolltieren im Vergleich zu den Tieren der AL-Gruppe und war eventuell für die unterschiedlichen Ergebnisse in der autonomen Balance (RMSSD/SDNN-Verhältnis) verantwortlich. Zwar hatte das Tonsignal ebenfalls eine Bedeutung für die AF- und AKF/L-Gruppen, jedoch fand hier wiederum die oben erwähnte Dauererregung statt (s. 4.3.4.3).

4.3.4.4 *Langfristige Antizipation der Fütterung*

Können Schweine auch eine langfristige Antizipation zur Fütterung ausbilden? Um diese Frage zu klären, wurden die Tiere der FF-Gruppe zusätzlich zur Anfangsfütterung am Morgen zu einem festen Zeitpunkt am Nachmittag gefüttert. Die Herzfrequenz nahm über die Zeitabschnitte hin zur Fütterung ab, während parallel die RMSSD zunahm (s. Abb. 25). Diese Zunahme des vagalen Einflusses könnte mit dem positiven Effekt der Futtererwartung und einem tieferen Entspannungszustand zusammenhängen (Zebunke et al., 2011). Natürlich ist es möglich, dass die HR-Abnahme mit gleichzeitiger RMSSD-Zunahme einem zirkadianen Effekt geschuldet sein könnte, bei dem der vagale Einfluss am Nachmittag zunimmt (Kuwahara et al., 1999). Jedoch in den 30 min vor dem Nachmittagsfütterungszeitpunkt zeigten die Schweine geringeres Liegeverhalten und vermehrt aktive Verhaltensweisen im Vergleich zum ersten Zeitabschnitt (120-90 min vor Fütterung; s. Abb. 28). Diese Aktivitätszunahme könnte zum einen am wachsenden Hunger der Tiere liegen oder daran, dass sie die nahende Fütterung antizipierten. Meines Erachtens sprechen die Gesamtergebnisse dieser FF-Gruppe eher für eine ausgebildete Antizipation der kommenden Fütterung. Ein Hinweis dafür ist, dass die Tiere keinerlei Herz- und Verhaltensreaktionen während des Tonsignals zeigten (s. Abschnitt 4.3.3.2). Aufgrund des Lernvermögens ist davon auszugehen, dass die Schweine der FF-Gruppe erfassen konnten, dass das Tonsignal futterankündigende Bedeutung für Tiere anderer Behandlungsgruppen hatte. Es wäre daher wahrscheinlich, dass die FF-Tiere bei wachsendem Hunger bereits während der letzten Tonsignale, also nicht erst in der letzten halben Stunde sondern schon im Zeitabschnitt 75-45 min vor Fütterung Veränderungen im Verhalten und in Herzreaktionen gezeigt hätten.

4.4 **Fütterungsmanagement**

Alle Tiere erhielten während des Versuchszeitraumes insgesamt die gleiche Menge an Futter (berechnet nach Linder Mayer et al. 1994). Es wurde über einen elektronisch ansteuerbaren Fütterungsautomaten ausgegeben. Der Unterschied zwischen den Behandlungsgruppen bestand daher in den verschiedenen Portionierungen und Zeiten der Futtergaben.

Tab. 13: Übersicht über das Fütterungsmanagement der einzelnen Behandlungsgruppen.

| Behandlungsgruppe | Anzahl der Fütterungen/Tag | Uhrzeit |
|--|-----------------------------------|--|
| AF (angekündigte Fütterung) | 6 | 3mal zwischen 07:30 Uhr und 10:30 Uhr 3mal zwischen 12:00 Uhr und 15:00 Uhr |
| RF (randomisierte Fütterung) | 6 | 3mal zwischen 07:30 Uhr und 10:30 Uhr 3mal zwischen 12:00 Uhr und 15:00 Uhr |
| AL (angekündigter Luftstoß) | 3 | 06:00 Uhr; 11:30 Uhr und 15:30 Uhr |
| RL (randomisierter Luftstoß) | 3 | 06:00 Uhr; 11:30 Uhr und 15:30 Uhr |
| AKF/L (angekündigte Konfliktsituation Fütterung oder Luftstoß) | 3 | 06:00 Uhr; 11:30 Uhr und 15:30 Uhr |
| FF (feste Fütterung) | 2 | 06:00 Uhr und 15:00 Uhr |

Aufgrund dieser durch das Versuchsdesign begründeten Unterschiede wurde eine Zusatzuntersuchung durchgeführt, um die Frage: „Welche Fütterungsfrequenz bevorzugen Schweine in Einzelhaltung ohne Handlungskomponente?“ zu klären (Mahnhardt et al., 2014).

In der Natur befinden sich Wildschweine auf ständiger Futtersuche und nehmen über den Tag viele kleine Portionen zu sich. Ferkel werden nach der Geburt sehr häufig und in kleinen Mengen gesäugt. Unsere Versuchstiere waren bei Beginn fünf Wochen alt und daher wurde erwartet, dass die Tiere eine häufige Fütterung mit kleinen Portionen bevorzugen würden. Diese Erwartung stützte sich auf Ergebnisse vorangegangener Studien mit aktiven Schweinen. Die Tiere waren in der Lage sich an ihre Umwelt, in der es viele kleine Futterportionen gab, anzupassen. Die Schweine konnten Verhaltensweisen ausüben um aktiv an Futter zu gelangen, wie zum Beispiel durch Exploration Futter finden (de Jonge et al., 2008b) oder durch operantes Lernen sich selbst mit Futter belohnen (Ernst et al., 2005; Zebunke et al., 2011). Unter diesen Voraussetzungen konnte der positive Einfluss auf das Wohlbefinden der Tiere demonstriert werden, zum Beispiel in Bevorzugungstests (de Jonge et al., 2008b), durch Verhaltensindikatoren (Puppe et al., 2007) und physiologische Indikatoren (Ernst et al., 2006; Zebunke et al., 2011; Zebunke et al., 2013). Im Versuchsdesign von de Jonge et al. (2008b) bevorzugten die Schweine verstecktes Pellet-Futter im Stroh anstatt frei zugängliches Pellet-Futter im Trog, nachdem die Tiere gelernt hatten, dass das Futter durch Exploration zu finden war. In der Studie von Ernst et al. (2005) erlernten die Schweine, einen Fütterungsautomaten zu betreten, nachdem ein spezielles Tonsignal zu hören war (Aufruffütterung). Dies brachte die Möglichkeit mit sich, dass die Tiere ungestört ohne Unterbrechung von anderen Tieren fressen konnten, denn jedes Tier hatte ein individuelles Tonsignal. Die Schweine wurden 30mal pro Tag aufgerufen und erhielten jeweils eine kleine Futterportion. In Verhaltenstest zeigten diese Tiere weniger Angstverhalten und Aufregung (Puppe et al., 2007), erhöhte Immunzellproliferation und eine bessere Wundheilung (Ernst et al., 2006). Darüber hinaus wurde in einer Zusatzuntersuchung zur Studie von Zebunke et al. (2011) gezeigt, dass die Tiere die Situation tatsächlich emotional positiv bewerteten durch entsprechende Reaktionen des Belohnungssystems, denn das endogene Opioidsystem als Teil des limbischen Systems ist direkt an der Perzeption und Regulation von biologisch relevanten Stimuli und deren emotionaler Bewertung beteiligt. Bei den Tieren der Studie, die ebenfalls viele Futterportionen erhielten und diese durch ein Schalterdrücken selbst abrufen durften, konnte das Ansprechen der belohnungssensitiven Opioidrezeptoren in der Amygdala der Tiere nachgewiesen werden (Kalbe und Puppe, 2010).

In unserem Versuchsdesign ohne Handlungskomponente hatten die Schweine keine Möglichkeit durch ihr Verhaltensrepertoire an Futter zu gelangen. Vergleiche zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen zeigen Hinweise darauf, dass egal ob antizipiert oder nicht, die Fütterung an zwei festen Zeitpunkten pro Tag bevorzugt wurde. Tiere dieser Gruppe (FF) zeigten mehr Entspannung in den Herzreaktionen und im Verhalten (s. 4.3.4.4). Es scheint, dass Schweine in einer bewegungseingeschränkten Umwelt ohne Kontrolle eine reguläre vorhersehbare zweimalige Fütterung mit großem Sättigungsgefühl favorisieren. Da alle Schweine die gleiche Futtermenge erhielten, könnte eventuell bei der sechsmaligen Fütterungsfrequenz ein Sättigungsgefühl ausgeblieben sein, denn beide Behandlungsgruppen (AF und RF) zeigten eine Dauererregung ohne Hinweise auf Entspannungsphasen. Dieser Sachverhalt wird in den Ergebnissen der

Basalherzfrequenz deutlich. Während diese aufgrund des zunehmenden Alters und Gewichtes bei den Kontrolltieren sank, blieb sie bei der AF- und RF-Gruppe erhöht (s. Abb. 18).

Der größte Unterschied zwischen der passiven Antizipation mit Hilfe der klassischen Konditionierung, wie in dieser Studie und den aktiven Antizipationsstudien, ist die Möglichkeit der Kontrolle über die Umwelt. Eine Situation, in der ein Tier die Möglichkeit hat, den Zugang zum Futter zu kontrollieren, ist grundlegend unterschiedlich zu einer Situation, in der das Tier auf das Futter warten muss, egal ob angekündigt (AF-Gruppe) oder nicht (RF-Gruppe). Die Kontrolle zu erlangen oder zu haben, erhöht das Wohlbefinden und ist eng mit der Antizipation der Konsequenzen der ausgeführten Aktionen verknüpft (Sambrook und Buchanan Smith, 1997; Manteuffel et al., 2009a; Manteuffel et al., 2009b).

4.5 Methodendiskussion

4.5.1 Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität

Das System von Polar® erwies sich trotz einiger Schwierigkeiten als probate Methode, um die Herzaktivität zu erfassen. Mit dem entsprechenden Handling der Tiere vor Versuchsbeginn konnte das Anlegen der Gurte für die Messung erleichtert und Abwehrreaktionen der Schweine vermieden werden, die die Messung und auch das Wohlbefinden der Tiere eventuell beeinflusst hätten.

Die Zeitbereichsanalyse ist in Forschungsarbeiten zum Wohlbefinden bei sehr vielen Säugetierarten (Pferde (Vitale et al., 2013), Kühe (Graunke et al., 2013), Ziegen (Langbein et al., 2003; Meyer et al., 2010), Schafe (Reefmann et al., 2009b), Schweine (Imfeld-Mueller et al., 2011; Zebunke et al., 2013; Mahnhardt et al., 2014) und Hunde (Kuhne et al., 2014)) zu finden. In der Humanmedizin hingegen ist eher die Frequenzbereichsanalyse vertreten (Scholz et al., 1997; Billman, 2011). Diese wurde jedoch in der Literatur bereits kontrovers diskutiert, vor allem Ergebnisse des LF/HF-Verhältnisses (Billman, 2013; Zebunke, 2009). Welche Analyse ist nun für die Untersuchung beim Nutztier die geeignetere? Um einen eigenen Eindruck zu gewinnen, wurden in dieser Arbeit beide Analysen durchgeführt und mittels einer Spearmannschen Rangkorrelation miteinander verglichen. Der RMSSD-Parameter sollte laut Pardo et al. (1996) mit dem HF-Parameter (n.u.) korrelieren, dies ist aber eher bei den HF-Daten mit der Einheit ms^2 , die stark miteinander korrelieren, der Fall (s. Tab. 7). Bei den LF-Daten korrelieren beide Einheiten des LF-Parameters nur schwach bis mäßig mit dem SDNN-Parameter (Kuwahara et al., 1994) und erstaunlicherweise mit unterschiedlichen Vorzeichen (s. Tab. 7). Das Verhältnis RMSSD/SDNN korreliert nur mäßig mit dem LF/HF-Verhältnis (s. Tab. 7). Eine unkorrekte Einstellung der Frequenzbereiche könnte ein Grund für diese abweichenden Ergebnisse sein. Die Frequenzbereiche für Ferkel stammten aus dem Review von von Borell et al. (2007). Diese Angaben gelten für Schweine bis zu 100 kg. Unsere Versuchstiere lagen aber mit $29 \pm 8,79$ kg Versuchsendgewicht eher im unteren Teil dieser Einteilung und daher ist es fraglich, ob die Frequenzbereiche passend gewählt waren. Da die Atemfrequenz einen großen Einfluss auf die Einteilung der Frequenzbereiche hat (vor allem auf den HF-Frequenzbereich), wäre es ratsam gewesen, die Atemfrequenz mitzumessen. In einer Studie von Reefmann et al. (2009) wurde dies bei Schafen mittels eines dehnbaren Atemfrequenzgurtes durchgeführt, doch nicht für die Frequenzbereichsanalyse verwendet, sondern als Indikator für

Emotionen getestet. Insgesamt gestaltet es sich jedoch (im Gegensatz zur Humanmedizin) schwierig, die Atemfrequenz nicht-invasiv, in Ruhe und stationär bei Tieren im laufenden Versuch zu erfassen (Billman, 2011; Billman, 2013). Zusammenfassend ist die Zeitbereichsanalyse leichter zu berechnen, aber die Frequenzbereichsanalyse könnte bei richtiger Anwendung detailliertere Informationen zur Verfügung stellen (Billman, 2011). Aufgrund dieser genannten Tatsachen und den Resultaten der Spearmans Rangkorrelation wurde sich im Rahmen dieser Arbeit auf die Ergebnisse der Zeitbereichsanalyse konzentriert.

4.5.2 Verhalten

Die Verhaltensbeobachtungen lieferten aussagekräftige Ergebnisse und boten eine sehr gute Möglichkeit um die analysierten Herzparameter genauer interpretieren zu können. Daher ist es sinnvoll Verhaltensbeobachtungen simultan mit den Herzaktivitätsmessungen durchzuführen.

Insgesamt ist es wichtig die erfassten Verhaltensweisen mit Bedacht auszuwählen und sorgfältig zu erfassen. Es ist relevant, welches Verhalten gewertet wird, wenn mehrere Verhaltensweisen gleichzeitig auftreten (Fressen im Stehen sollte dann z.B. als Fressen gewertet werden).

Des Weiteren ist zu überlegen, ob die Daten der Verhaltensbeobachtungen im Nachhinein noch zusätzlich durch Verhaltenstests (*open field-Test*, *novel object-Test*) ergänzt werden sollten (Puppe et al., 2007). Dadurch hätte die Ängstlichkeit und Stressreaktivität der Tiere getestet werden können, ob z.B. die positiv gereizten Tiere neugieriger und die negativ gereizten Tiere ängstlicher gewesen wären. Auch hätten Unterschiede zwischen den Stadien des Versuchsablaufes aufgezeigt werden können. Darüber hinaus wäre eine Vokalisationsaufnahme als weiterer Indikator für Emotionen wertvoll gewesen (s. Tab. 12). Dies war durchaus angedacht, da aber die Tiere gemeinsam in einem Raum untergebracht waren, konnten (wie ein Vorversuch zeigte) die Vokalisationen nicht genau den jeweiligen Tieren zugeordnet werden und es wurde darauf verzichtet.

4.6 Fazit

Diese umfassende Studie bei jungen Ferkeln der Deutschen Landrasse (*Sus scrofa domestica*) kombinierte Untersuchungen zu physiologischen (Herzaktivitätsmessungen) und ethologischen Parametern (Verhaltensbeobachtungen). Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass das Verhalten sowie die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität (RMSSD, SDNN, RMSSD/SDNN) innerhalb eines passiven Antizipationsparadigmas mit unterschiedlicher emotionaler Valenz (positiv, negativ, ambivalent) entsprechend unterschiedlich beeinflusst wurden.

Die Ergebnisse lassen sich in kurz- und langfristige Folgen von wiederholten emotionalen Reizungen einteilen. Als kurzfristige Folge wurde bei den positiv antizipierenden Tieren (AF) ein Anstieg der Herzfrequenz und der SDNN während des Tones festgestellt, was auf eine antizipationsinduzierte sympathische Aktivierung des Herzens schließen lässt (Despres et al., 2002; Zebunke et al., 2013). Dies resultierte aus den positiven Reizungen und war gleichzeitig durch Verhaltensänderungen, nämlich ein aktives Aufsetzen und somit Warten auf das kommende Futter, gekennzeichnet (Braesicke et al., 2005). Daher kann von einer erfolgreichen

Konditionierung auf das Tonsignal ausgegangen werden. Die Konditionierung war ebenso bei den Konflikttieren (AKF/L) nachzuweisen, denn auch Tiere dieser Gruppe zeigten ein eindeutiges Aufsetzen während des Tonsignals, obwohl nur eine 50%ige Chance auf Futterbelohnung bestand. Dieses Verhalten lässt sich durch den Umstand erklären, dass Futter hier eine essenzielle Ressource darstellte und Schweine eine generell hohe Motivation für den Futtererwerb besitzen (Matthews und Ladewig 1994; Day et al. 1995). Zusätzlich konnte bei der AKF/L-Gruppe als einziger Behandlungsgruppe ein Anstieg des RMSSD-Parameters und der SDNN im Vergleich der Minute vor dem Ton zur Tonminute detektiert werden, was auf eine deutliche Parasympathikus-Aktivierung schließen lässt (positiver Effekt der Futtererwartung (Zebunke et al., 2011; Zebunke et al., 2013)). Gleichzeitig ist eine sympathische Aktivierung des Herzens wahrscheinlich, obwohl keine Herzfrequenzerhöhung erfasst wurde, denn das RMSSD/SDNN-Verhältnis stieg nicht an und die aktiven Verhaltensweisen, die immer mit einer Sympathikus-Aktivierung einhergehen (Pagani, 1995), nahmen zu. Zusammenfassend spricht dies für eine positive Einstellung der ambivalent gereizten Schweine gegenüber dem Tonsignal.

Die Ergebnisse der beiden Gruppen AF und AKF/L lassen sich zusammenfassend nach dem emotionalen Grundmodell (s. Abb. 2) von Mendl et al. (2010) in den Quadranten eins des positiven affektiven Zustandes einteilen. Gründe sind die hohe Erregung (aktives Verhalten (AF, AKF/L) und HR-Anstieg (AF)) und somit Aktivierung des sympathischen Systems einhergehend mit einem Gleichbleiben (AF) bzw. einer Erhöhung (AKF/L) des RMSSD-Wertes (Aktivierung des parasympathischen Systems). Hinzu kommt die allgemeine positive emotionale Bedeutung des Futters für die Tiere. Es lässt sich schlussfolgern, dass eine positive emotionale Reizung während der Antizipation bei beiden Gruppen (AF und AKF/L) induziert werden konnte.

Die Kontrollgruppe (FF) zeigte wie erwartet weder in den Herzfrequenzen noch im Verhalten Reaktionen auf das Tonsignal. Es konnte gezeigt werden, dass Tiere selektiv nur auf Reize reagieren (mit Verhaltensänderungen und physiologisch mit Herzreaktionen), die sie selbst betreffen (Zebunke et al., 2011). Für die Schweine der Kontrollgruppe hatte das Tonsignal keine Bedeutung. Diese Tiere bildeten eine langfristige Antizipation hinsichtlich der festen Fütterungszeit am Nachmittag aus. Auch bei der angekündigt negativ gereizten Behandlungsgruppe (AL) konnten keine antizipationsinduzierten Unterschiede in den Herzparametern und im Verhalten ermittelt werden. Entgegen den Erwartungen wurde hier keine eindeutige affektive Antizipationsreaktion deutlich.

Insgesamt reagierten alle Behandlungsgruppen mit positiver Reizung (AF, AKF/L und RF) auf den Stimulus Futter mit einem Anstieg der Herzfrequenz (Marchant et al., 1997; Geverink et al., 2002; Geverink et al., 2003; Zebunke et al., 2011; Zebunke et al., 2013). Bei den RF-Tieren war dies eine rein sympathisch vermittelte Herzreaktion, da keine Änderung der RMSSD und damit der parasympathischen Aktivierung erfolgte. Bei den AF- und AKF/L-Tieren wurden die Herzreaktionen hingegen stark parasympathisch beeinflusst, was durch einen signifikanten Abfall der RMSSD angezeigt wurde (Parasympathikus-Reduzierung).

Die Behandlungsgruppen (AL, RL) mit negativer Reizung reagierten mit einem eindeutigen Anstieg der SDNN auf die Luftstoßgabe. Dies lässt auf eine sympathische Aktivierung schließen, da auch das RMSSD/SDNN Verhältnis signifikant absank. Alle Gruppen mit negativen Reizungen (AL, AKF/L und RL) zeigten langfristig bei der Reizapplikation Bewältigungsstrategien (*coping*) im Verhalten (Wechsler, 1995). Diese Strategien änderten sich über die Versuchstage von aktiv zu passiv, sodass eine

Habituation an den Negativreiz stattfand (Korte et al., 2007). Die vor allen am Versuchsbeginn auftretenden Verhaltensweisen Flucht und Ausweichen sind hierbei als Versuch eines aktiven Bewältigungsverhaltens anzusehen, da die Tiere dem aversiven Reiz durch die Bewegungseinschränkung nicht ausweichen konnten. Das Verhalten Zucken, welches zum Versuchsende hin zunahm, ist als passives Bewältigungsverhalten anzusehen (Koolhaas et al. 1986; Korte et al., 1992). Die Schlussfolgerung der Habituation an den Negativreiz konnte zusätzlich durch die Beobachtung von keinerlei stereotypen Verhaltensweisen (z. B. Beißen in die Gitterstäbe) bestätigt werden. Ebenso blieben die Schweine zum Versuchsende hin während des Luftstoßes liegen, daher spiegeln die Herzaktivitätsdaten, die zum Ende des Versuches aufgenommen wurden höchstwahrscheinlich den psychischen Zustand der Tiere wider. Interessant hierbei ist die Tatsache, dass trotz der offensichtlichen kurzfristigen Aktivierung des Sympathikus kein Anstieg in der Herzfrequenz zu verzeichnen war, denn negative Emotionen werden theoretisch mit steigenden HR- und SDNN-Werten verknüpft (McCraty et al., 1995; Reefmann et al., 2009a).

Langfristig wurde aufgrund des zunehmenden Gewichtes eine generelle Abnahme der Basalherzfrequenz in allen Behandlungsgruppen erwartet (Webster und Jones, 1998), was sich jedoch nur in den Behandlungsgruppen AL, RL und FF bestätigte. Bei den positiv gereizten Tieren (AF, AKF/L, RF) wurde hingegen keine generelle Basalherzfrequenzabnahme im Vergleich zu den Kontrolltieren festgestellt. Die Ursache könnte in einer Dauererregung dieser Schweine aufgrund der ständigen Erwartung des kommenden Futters und an dem experimentellen Ablauf liegen, wodurch es zu einer deutlichen Verschiebung des autonomen Gleichgewichts in Richtung Sympathikus kam.

Insgesamt kam es bei allen Behandlungsgruppen laut den Ergebnissen des RMSSD/SDNN-Verhältnisses zu einer deutlichen Verschiebung des autonomen Gleichgewichts in Richtung sympathischer Kontrolle mit einer gleichzeitigen basalen RMSSD-Abnahme. Diese Resultate können auf chronischen Stress der Tiere hindeuten (Porges, 1995a; Langbein et al., 2003; Thayer und Sternberg, 2006). Von chronischem Stress ist hier nicht auszugehen, da die Resultate der Verhaltensbeobachtungen (keine eindeutigen Stereotypen oder Frustrationsverhalten) und der HPA-Achsen-Parameter (Brietzke et al., 2013; Mahnhardt et al., 2014) keine Anhaltspunkte lieferten. Diese lassen auf eine Adaptation der Tiere an den experimentellen Ablauf und die experimentelle Haltung schließen. Vermutlich entwickelten die Tiere Langeweile durch das passive Versuchsdesign (keinerlei Handlung- und Kontrollmöglichkeiten), denn Langeweile kann durch das chronische Fehlen von Möglichkeiten mit der Umwelt zu interagieren entstehen (Wemelsfelder, 1993). Insgesamt ist es wahrscheinlich aufgrund der Langeweile und des Versuchsdesigns zu einer negativen Belastung bei den Tieren gekommen und wurde durch die Verschiebung der autonomen Balance in Richtung sympathischer Kontrolle deutlich.

Interessanterweise schien die angekündigt negativ gereizte Gruppe (AL) entgegen den Erwartungen im Vergleich zu allen anderen Behandlungsgruppen in diesem experimentellen Ablauf die am schwächsten ausgeprägte negative Belastung zu haben. Diese Gruppe wies eine deutlich weniger ausgeprägte Verschiebung der autonomen Balance in Richtung sympathischer Kontrolle im Vergleich zu der Kontrollgruppe und zu allen weiteren Behandlungsgruppen beim RMSSD/SDNN-Verhältnis und bei der basalen RMSSD auf. Die Tiere der AL-Gruppe antizipierten die dreimaligen festen Fütterungszeiten. Dies dürfte möglich gewesen sein, denn es konnte auch

nachgewiesen werden, dass die Kontrolltiere in der Lage waren eine langfristige Antizipation auszubilden. Zugleich nutzten die Schweine der AL-Gruppe das Tonsignal als Präpuls, so dass der an sich schon milde negative Charakter des Luftstoßes zusätzlich abgeschwächt wurde. So „wussten“ die Tiere zeitlich genau, was passieren würde und konnten dementsprechend zwischen den Reizungen tief entspannen (Koch und Schnitzler, 1997). Daher glichen die Schweine der AL-Gruppe während der Tonsignalminute im Verhalten und der Herzreaktion den Ergebnissen der Kontrollgruppe.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit kann geschlussfolgert werden, dass Futter als positiver Reiz durchaus geeignet ist. Der Luftstoß kann insgesamt als milder negativer Reiz eingeordnet werden, der aber über eine längere Versuchsdauer in der Reizstärke aus Sicht des Tieres abnimmt. Aufgrund der Resultate vor allem in den Verhaltensbeobachtungen, wurde der Luftstoß anfänglich als Aversivreiz von den Tieren bewertet. Langfristig fand jedoch eine Habituation an den Luftstoß statt. Allerdings könnte in zukünftigen Versuchen sehr gut die Dauer und die Intensität des Luftstoßes verstärkt werden oder weitere aversive Reizungen, wie z.B. Vibrationen des Bodens (Manteuffel et al., 2014) hinzukommen. Die Untersuchung zeigt erneut, dass die nicht-invasive Erfassung der Herzaktivität gekoppelt mit Verhaltensbeobachtung eine geeignete Methode ist, um auf den emotionalen Zustand von Schweinen zu schließen. Die Nutzung der Zeitbereichsanalyse bei der Interpretation der Herzaktivität ist vor allem bei Studien an Tieren leicht durchführbar und dank der Korrekturanalyse von POLAR Elektro Oy (Kempele, Finnland) mit anderen Studien vergleichbar. Dabei sollte bedacht werden, dass die Herzaktivität von vielen äußeren und inneren Faktoren beeinflusst wird. Daher bieten vor allem die basalen Daten, bei deren Erfassung die Tiere ruhig liegen, eine gute Möglichkeit auf den psychischen Zustand zu schließen, ohne den starken Einfluss von physischer Aktivität. Trotzdem ist eine technische falsche Fehlererkennung möglich und wie bereits in der Studie von Borell et al. (2007) dargelegt wurde, reicht die Analyse der Herzaktivität als alleiniger Indikator von Emotionen nicht aus. Es sind weitere Indikatoren wie Verhaltensbeobachtungen und Immunparameter nötig.

Mit Hilfe dieses Versuchsdesigns konnte kurzfristig eine positive emotionale Reizung während der Antizipation induziert werden. Langfristig gesehen ergaben die Reaktionen auf wiederholte positive oder negative Reizungen jedoch keinen Hinweis auf anhaltende Stimmungsveränderungen. Die bloße passive Antizipation eines positiven Stimulus (z.B. Futter) ohne die Möglichkeit, diesen aktiv zu erreichen, scheint also nicht geeignet, um eine positive Stimmung zu erzeugen und das Wohlbefinden zu erhöhen. Unter diesen Bedingungen wurde von den Tieren eine zweimalige Fütterung im Vergleich zu mehreren kleinen Portionen bevorzugt. Bei aktiv antizipierenden Tieren wirkte sich die Kontrolle über die Belohnung durch operantes Verhalten (z.B. Betätigung eines Schalters) und viele kleine Futterportionen positiv auf das Wohlbefinden der Tiere aus (Sambrook und Buchanan Smith, 1997; Manteuffel et al., 2009a; Manteuffel et al., 2009b). Der Schlüssel für positive Emotionen und Stimmungen und somit einer Verbesserung des Wohlbefindens von Schweinen in der Nutztierhaltung scheint demnach in der aktiven Kontrolle der Umwelt zu liegen. Daher sollten in zukünftigen Haltungssystemen z.B. Fütterungssysteme bzw. Beschäftigungsmöglichkeiten integriert sein, die eine solche aktive Kontrolle ermöglichen.

5 Zusammenfassung

Emotionen bei Tieren zu erfassen, ist ein noch recht junges und weites Forschungsfeld in der Wissenschaft (Yeates und Main, 2008). Durch Aussagen über die emotionale Bewertung aus Sicht der Tiere könnten mit Hilfe der Nutztierforschung die Haltungsbedingungen optimiert werden (Boissy et al., 2007b).

Mit der vorliegenden Arbeit wollten wir aufbauend auf früheren Studien (Ernst et al. 2005, de Jonge et al. 2008a, Zebunke et al. 2011) die Antizipationskomponente auf positive und negative Reizungen getrennt von der Handlungskomponente betrachten (passiv antizipierende Tiere). Durch dieses Versuchsdesign besaßen die Tiere keine Kontrolle über ihre Umwelt, sie konnten weder die Umwelt verändern, noch hatten sie einen Einfluss auf die Fütterung (positiver Reiz) oder die Aversivreizung (Luftstoß). Ziel war es herauszufinden, ob eine wiederholte passive Antizipation eines positiven oder negativen Reizes allein schon ausreicht, um positiv bzw. negativ auf das Wohlbefinden der Tiere zu wirken. Die Emotionen und Stimmungen sollten mit Hilfe der Herzfrequenz (HR)- und Herzfrequenzvariabilität (RMSSD, SDNN, RMSSD/SDNN), erfasst werden, welche den Einfluss des Sympathikus und Parasympathikus im autonomen System reflektieren und weltweit für die Interpretation von Emotionen genutzt werden. Zusätzlich wurden Verhaltensbeobachtungen durchgeführt.

Als Versuchstiere für diese Studie dienten 102 Ferkel in 17 Durchgängen à 30 Tagen. Die Tiere wurden in sechs räumlich veränderbaren Einzelboxen gehalten. Alle sechs Versuchstiere hörten je Versuchstag 3-mal vormittags und 3-mal nachmittags zu randomisierten Zeitpunkten ein 1-minütiges Tonsignal. Dieses war für die Tiere von unterschiedlicher Bedeutung. Ein Tier bekam nach dem Tonsignal Futter (angekündigte Fütterung: AF), eines einen Luftstoß (angekündigter Luftstoß: AL), und ein weiteres erhielt zufällig Futter oder einen Luftstoß (je dreimal pro Tag; angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß: AKF/L). Die anderen 2 Versuchstiere erhielten tonunabhängige Reize: Ein Tier bekam 6-mal unangekündigt Futter (randomisierte Fütterung: RF), und eines 6-mal unangekündigt einen Luftstoß (randomisierter Luftstoß: RL). Zusätzlich wurde ein Tier zu festen Zeiten 2-mal am Tag gefüttert (feste Fütterungen: FF; Kontrollgruppe).

Eindeutige Herz- und Verhaltensreaktionen zeigten eine positive emotionale Reizung während der Antizipation (Tonsignal) bei den konditionierten Gruppen AF und AKF/L an. Dies deutet auf einen positiven affektiven Zustand bei den Tieren hin. Die Konditionierung war erfolgreich. Die Kontrollgruppe (FF) zeigte wie erwartet weder in den Herzfrequenzen noch im Verhalten Reaktionen auf das Tonsignal. Bei der angekündigt negativ behandelten Gruppe (AL) konnten jedoch keine antizipationsinduzierten Unterschiede in den Herz- und Verhaltensreaktionen ermittelt werden. Entgegen den Erwartungen wurde keine eindeutige affektive Antizipationsreaktion deutlich, stattdessen konnten die Tiere das Tonsignal wahrscheinlich als Präpuls nutzen um den darauffolgenden negativen Reiz abzuschwächen.

Insgesamt reagierten alle Behandlungsgruppen mit positiver Reizung/Fütterung (AF, AKF/L und RF) auf den Stimulus Futter mit einem Anstieg der Herzfrequenz und der aktiven Verhaltensweisen. Die Verhaltensreaktionen der Gruppen mit Luftstoßreizung (AL, AKF/L und RL) machten eine Habituation an diesen deutlich und zeigten den Wechsel von aktivem zu passivem *coping* (Wechsler, 1995).

Bei den positiv gereizten Tieren (AF, AKF/L, RF) blieb hingegen die altersabhängig zu erwartende Abnahme der Basalherzfrequenz über den Versuchszeitraum aus. Die Ursache könnte in einer Dauererregung dieser Tiere aufgrund der ständigen Erwartung des kommenden Futters und durch den experimentellen Ablauf liegen, wodurch es zu einer deutlichen Verschiebung des autonomen Gleichgewichts in Richtung Sympathikus kam. Diese Verschiebung mit einer gleichzeitigen basalen RMSSD-Abnahme war in allen Behandlungsgruppen zu beobachten und deutet auf eine negative Belastung der Tiere aufgrund des experimentellen Designs hin (Porges, 1995a; Langbein et al., 2003; Thayer und Sternberg, 2006). Interessanterweise schien die angekündigt negativ gereizte Gruppe (AL) die am schwächsten ausgeprägte negative Belastung zu haben. Diese Tiere konnten zeitlich genau einschätzen, wann was passieren würde und somit in den Ruhezeiten besser entspannen.

Insgesamt ergaben die Reaktionen auf wiederholte positive oder negative Reizungen keinen Hinweis auf anhaltende Stimmungsveränderungen. Die bloße Antizipation eines positiven Stimulus (z.B. Futter) ohne die Möglichkeit, diesen aktiv zu erreichen, scheint also nicht geeignet, um eine positive Stimmung zu erzeugen und das Wohlbefinden zu erhöhen.

6 Summary

Assessment of emotions in animals is still a new and wide field of research with much to discover (Yeates and Main, 2008). It is accepted that animals perceive and appraise their environment in an emotional way. The understanding of these emotions can help to optimize housing conditions but also to improve welfare in farm animals (Boissy et al., 2007b).

With regard to previous studies (Ernst et al. 2005, de Jonge et al. 2008a, Zebunke et al. 2011), the animals' anticipation of positive and negative stimuli without an active component (passive anticipation) was examined for this particular study. In this experimental design, the animals had no control over the environment, feeding or negative stimulus (air puff). The aim of the study was to determine if repeated passive anticipation of positive or negative stimuli can change the emotions, mood and welfare of the animals in a positive or negative way, respectively.

We measured heart reactions in order to assess the animals' emotions, which has become a widely used method in order to measure animals' emotion. The heart rate (HR) and its variability (RMSSD, SDNN, RMSSD/SDNN) reflect the inputs of the sympathetic and parasympathetic branches of the autonomous nervous system. Furthermore, we complemented the heart reaction data with behavioral observations. In each of the 17 replicates, six pigs (*Sus scrofa domestica*) were housed in single boxes, which were spatially modifiable. The animals differed in their treatment regarding valence and anticipation of the stimulus. All of the six experimental animals heard a one-minute sound signal randomized three times per day at a.m. and three times per day at p.m. The sound signal however implied different meanings for the animals. One animal received feed after the signal (announced feeding: AF), one experienced an air puff (announced air puff: AL), and another received a randomized feeding or an air puff (each feeding or air puff occurred three times a day: announced conflict situation feeding/air puff: AKF/L). The other two animals received the stimuli independently from the sound signal: One animal received feed six times per day (randomized feeding: RF), and one an air puff six times per day (randomized air puff: RL). Furthermore, one animal had a fixed feeding time two times per day (fixed feeding: FF; control group).

Distinct heart and behavior reactions in the conditioned groups AF and AKF/L indicated a positive emotional stimulation during the sound signal. This suggested a positive affective state of these animals. Hence, the conditioning was successful. As expected, the control group (FF) showed no reactions in the heart rate or in the behavior during the sound signal. The same was true for the AL group. Contrary to our expectations, we could not detect an affective anticipation reaction. Instead, it is possible that the animals could have used the sound signal as a prepulse to relieve the subsequent negative stimulus.

Overall, every treatment group with the positive stimulus feed (AF, AKF/L, RF) reacted on the stimulus with an increased heart rate and active behavior. The behavior reactions of the groups with the air puff stimulus indicated a habituation to the air puff and a switch from active to passive coping (Wechsler, 1995).

We also expected an age-dependent general decrease in the basal heart rate in the positive stimulated groups (AF, AKF/L, RF); yet, this was not the case. A reason for this could be the persistent arousal of these animals due to the constant expectation of feeding, which resulted in a significant relocation of the autonomic balance of the

nervous system in the sympathetic direction. This relocation and the coincident decrease of the basal RMSSD-parameter were measured in all six treatment groups and could indicate a negative strain of the animals because of the experimental design (Porges, 1995a; Langbein et al., 2003; Thayer and Sternberg, 2006). Interestingly, the announced negatively stimulated group (AL) showed the weakest strain. Perhaps, the animals could predict when something would happen and relax deeper in mean time. In summary, the reactions to repeated positive or negative stimuli showed no evidence of continual changes in mood. Just the anticipation of a positive stimulus (feed) without the possibility to seek it actively is not suitable to induce a positive mood and increase welfare.

Literaturliste

- Akselrod, S., Gordon, D., Madwed, J.B., Snidman, N.C., Shannon, D.C., Cohen, R.J., 1985. Hemodynamic regulation - Investigation by spectral-analysis. *American Journal of Physiology* 249, H867-H875.
- Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F.A., Shannon, D.C., Barger, A.C., Cohen, R.J., 1981. Power spectrum analysis of heart-rate fluctuation - A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* 213, 220-222.
- Arellano, P.E., Pijoan, C., Jacobson, L.D., Algiers, B., 1992. Stereotyped Behavior, Social interactions and suckling pattern of pigs housed in groups or in single crates. *Applied Animal Behaviour Science* 35, 157-166.
- Arthur, A.R., 1987. Stress as a state of anticipatory vigilance. *Perceptual and Motor Skills* 64, 75-85.
- Badia, P., Harsh, J., Abbott, B., 1979. Choosing between predictable and unpredictable shock conditions - Data and Theory. *Psychological Bulletin* 86, 1107-1131.
- Barnett, J.L., Hemsworth, P.H., Cronin, G.M., Newman, E.A., Mccallum, T.H., 1991. Effects of design of individual cage-stalls on the behavioral and physiological-responses related to the welfare of pregnant pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 32, 23-33.
- Bassett, L., Buchanan-Smith, H.M., 2007. Effects of predictability on the welfare of captive animals. *Applied Animal Behaviour Science* 102, 223-245.
- Bauer, U., 2007. Bestimmung des Einflusses der sozialen Umwelt auf das visuelle Diskriminierungsvermögen von Zwergziegen mittels Analyse der Herzschlagaktivität. [Dissertation]. Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock.
- Beauchaine, T., 2001. Vagal tone, development, and Gray's motivational theory: Toward an integrated model of autonomic nervous system functioning in psychopathology. *Development and Psychopathology* 13, 183-214.
- Berntson, G.G., Bigger, J.T., Eckberg, D.L., Grossman, P., Kaufmann, P.G., Malik, M., Nagaraja, H.N., Porges, S.W., Saul, J.P., Stone, P.H., VanderMolen, M.W., 1997. Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology* 34, 623-648.
- Berry, M., Signoret, J.P., 1984. Sex play and behavioral sexualization in the pig. *Reproduction Nutrition Development* 24, 507-513.
- Billman, G.E., 2013. The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. *Frontiers in Physiology* 4, Artikel 26, 1-5.
- Billman, G.E., 2011. Heart rate variability - A historical perspective. *Frontiers in Physiology* 2, Artikel 86, 1-13.

- Boissy, A., Arnould, C., Chaillou, E., Desire, L., Duvaux-Ponter, C., Greiveldinger, L., Leterrier, C., Richard, S., Roussel, S., Saint-Dizier, H., Meunier-Salaun, M.C., Valance, D., Veissier, I., 2007a. Emotions and cognition: a new approach to animal welfare. *Animal Welfare* 16, 37-43.
- Boissy, A., Manteuffel, G., Jensen, M.B., Moe, R.O., Spruijt, B., Keeling, L.J., Winckler, C., Forkman, B., Dimitrov, I., Langbein, J., Bakken, M., Veissier, I., Aubert, A., 2007b. Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. *Physiology & Behavior* 92, 375-397.
- Braesicke, K., Parkinson, J.A., Reekie, Y., Man, M.S., Hopewell, L., Pears, A., Crofts, H., Schnell, C.R., Roberts, A.C., 2005. Autonomic arousal in an appetitive context in primates: a behavioural and neural analysis. *European Journal of Neuroscience* 21, 1733-1740.
- Bruff, D.L., Geyer, M.A., Swerdlow, N.R., 2001. Human studies of prepulse inhibition of startle: normal subjects, patient groups, and pharmacological studies. *Psychopharmacology* 156, 234-258.
- Brenner, I.K.M., Thomas, S., Shephard, R.J., 1998. Autonomic regulation of the circulation during exercise and heat exposure - Inferences from heart rate variability. *Sports Medicine* 26, 85-99.
- Brietzke, J., Jaskulke, S., Klöckner, P., Kanitz, E., Tuchscherer, M., Otten, W., Schön, P.C., Tuchscherer, A., Manteuffel, G., Gimsa, U., 2013. Does repeated anticipation induce neuroendocrine modulation of the immune system in domestic pigs? *Brain, Behavior, and Immunity* 29, Supplement, S14.
- Broom, D.M., 1991. Animal-welfare - Concepts and measurement. *Journal of Animal Science* 69, 4167-4175.
- Buchenauer, D., 1992. Bedeutung emotionaler Reaktion für die Beurteilung des Anpassungsvermögens. Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. *KTBL-Schrift* 356, 32-46, Darmstadt.
- Buchholtz, C., 2006. Die Bedeutung der Neurowissenschaften für das Verständnis Nutztierethologischer Fragestellungen. *Informationsblatt Nutztierhaltung* 2/06 Hrsg.: Internationale Gesellschaft für Nutztierhaltung
- Burchfield, S.R., 1979. The stress response: A new perspective. *Psychosom. Med.*, 41, 661-672.
- Burgdorf, J., Panksepp, J., 2006. The neurobiology of positive emotions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 30, 173-187.
- Burman, O.H., Parker, R.M., Paul, E.S., Mendl, M., 2008. Sensitivity to reward loss as an indicator of animal emotion and welfare. *Biology Letters* 4, 330-333.
- Camm, A.J., Malik, M., Bigger, J.T., Breithardt, G., Cerutti, S., Cohen, R.J., Coumel, P., Fallen, E.L., Kennedy, H.L., Kleiger, R.E., Lombardi, F., Malliani, A., Moss, A.J., Rottman, J.N., Schmidt, G., Schwartz, P.J., Singer, D., 1996. Heart rate variability - Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 93, 1043-1065.

- Cannon, W.B., 1932. The wisdom of the body. Norton, New York.
- Cerutti, S., Bianchi, A.M., and Mainardi, L.T., 1995. Heart rate variability, chapter spectral analysis of the heart rate variability signal. Futura Publishing Company, Inc., 63-74.
- Dantzer, R., 1991. Stress, stereotypies and welfare. Behavioural Processes 25, 95-102.
- Dawkins, M.S., 2000. Animal minds and animal emotions. American Zoologist 40, 883-888.
- Day, J.E.L., Kyriazakis, I., Lawrence, A.B., 1995. The effect of food-deprivation on the expression of foraging and exploratory-behavior in the growing pig. Applied Animal Behaviour Science 42, 193-206.
- de Jong, I.C., Ekkel, E.D., Van de Burgwal, J.A., Lambooi, E., Korte, S.M., Ruis, M.A.W., Koolhaas, J.M., Blokhuis, H.J., 1998. Effects of strawbedding on physiological responses to stressors and behavior in growing pigs. Physiology & Behavior 64, 303-310.
- de Jonge, F.H., Boleij, H., Baars, A.M., Dudink, S., Spruijt, B.M., 2008a. Music during play-time: Using context conditioning as a tool to improve welfare in piglets. Applied Animal Behaviour Science 115, 138-148.
- de Jonge, F.H., Tilly, S.L., Baars, A.M., Spruijt, B.M., 2008b. On the rewarding nature of appetitive feeding behaviour in pigs (*Sus scrofa*): Do domesticated pigs contrafreeload? Applied Animal Behaviour Science 114, 359-372.
- Desire, L., Veissier, I., Despres, G., Delval, E., Toporenko, G., Boissy, A., 2006. Appraisal process in sheep (*Ovis aries*): Interactive effect of suddenness and unfamiliarity on cardiac and behavioral responses. Journal of Comparative Psychology 120, 280-287.
- Desire, L., Veissier, I., Despres, G., Boissy, A., 2004. On the way to assess emotions in animals: Do lambs (*Ovis aries*) evaluate an event through its suddenness, novelty, or unpredictability? Journal of Comparative Psychology 118, 363-374.
- Desire, L., Boissy, A., Veissier, I., 2002. Emotions in farm animals: a new approach to animal welfare in applied ethology. Behavioural Processes 60, 165-180.
- Despres, G., Veissier, I., Boissy, A., 2002. Effect of autonomic blockers on heart period variability in calves: Evaluation of the sympatho-vagal balance. Physiological Research 51, 347-353.
- Douglas, C., Bateson, M., Walsh, C., Bedue, A., Edwards, S.A., 2012. Environmental enrichment induces optimistic cognitive biases in pigs. Applied Animal Behaviour Science 139, 65-73.
- Dudink, S., Simonse, H., Marks, I., de Jonge, F.H., Spruijt, B.M., 2006. Announcing the arrival of enrichment increases play behaviour and reduces weaning-stress-induced behaviours of piglets directly after weaning. Applied Animal Behaviour Science 101, 86-101.
- Duepjan, S., Ramp, C., Kanitz, E., Tuchscherer, A., Puppe, B., 2013. A design for studies on cognitive bias in the domestic pig. Journal of Veterinary Behavior-Clinical Applications and Research 8, 485-489.

- Duepjan, S., Tuchscherer, A., Langbein, J., Schoen, P.C., Manteuffel, G., Puppe, B., 2011. Behavioural and cardiac responses towards conspecific distress calls in domestic pigs (*Sus scrofa*). *Physiology & Behavior* 103, 445-452.
- Duncan, I.J.H., Petherick, J.C., 1991. The implications of cognitive-processes for animal-welfare. *Journal of Animal Science* 69, 5017-5022.
- Eckert, R., Randall, D., Burggren, W., French, K., 2002. *Tierphysiologie*. 4. Auflage, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York.
- Eisermann, K., 1988. Seasonal and environmental-influences upon the diurnal heart-rate pattern in wild rabbits living under seminatural conditions. *Physiology & Behavior* 43, 559-565.
- Emack, J., Matthews, S.G., 2011. Effects of chronic maternal stress on hypothalamo-pituitary-adrenal (HPA) function and behavior: No reversal by environmental enrichment. *Hormones and Behavior* 60, 589-598.
- Ernst, K., Tuchscherer, M., Kanitz, E., Puppe, B., Manteuffel, G., 2006. Effects of attention and rewarded activity on immune parameters and wound healing in pigs. *Physiology & Behavior* 89, 448-456.
- Ernst, K., Puppe, B., Schon, P.C., Manteuffel, G., 2005. A complex automatic feeding system for pigs aimed to induce successful behavioural coping by cognitive adaptation. *Applied Animal Behaviour Science* 91, 205-218.
- Ferrière, A., 2008. Zusammenhang zwischen der kardialen autonomen Neuropathie und linksventrikulären Masse bei Typ 2-Diabetes. [Dissertation] Medizinische Fakultät der Ruhr-Universität-Bochum.
- Ford, J.J., 1983a. Postnatal differentiation of sexual preference in male pigs. *Hormones and Behavior* 17, 152-162.
- Ford, J.J., 1983b. Serum Estrogen concentrations during postnatal-development in male pigs. *Proceedings of the society for experimental biology and medicine* 174, 160-164.
- Friedman, B.H., Thayer, J.F., 1998. Anxiety and autonomic flexibility: a cardiovascular approach (vol 47, pg 243, 1998). *Biological Psychology* 49, 303-323.
- Furlong, T.M., McDowall, L.M., Horiuchi, J., Polson, J.W., Dampney, R.A., 2014. The effect of air puff stress on c-Fos expression in rat hypothalamus and brainstem: central circuitry mediating sympathoexcitation and baroreflex resetting. *European Journal of Neuroscience* 39, 1429-1438.
- Geverink, N.A., Schouten, W.G.P., Gort, G., Wiegant, V.M., 2003. Individual differences in behaviour, physiology and pathology in breeding gilts housed in groups or stalls. *Applied Animal Behaviour Science* 81, 29-41.
- Geverink, N.A., Schouten, W.G.P., Gort, G., Wiegant, V.M., 2002. Individual differences in behavioral and physiological responses to restraint stress in pigs. *Physiology & Behavior* 77, 451-457.
- Graunke, K.L., Nuernberg, G., Repsilber, D., Puppe, B., Langbein, J., 2013. Describing temperament in an ungulate: A Multidimensional Approach. *Plos One* 8 (9): e74579.

- Greiveldinger, L., Veissier, I., Boissy, A., 2007. Emotional experience in sheep: Predictability of a sudden event lowers subsequent emotional responses. *Physiology & Behavior* 92, 675-683.
- Hainsworth, R., 1995. The control and physiological importance of heart rate. In: Malik, M., Camm, A.J., (eds.) *Heart rate Variability*. Futura Publishing Company, Inc. Armonk, N.Y., 3-19.
- Hansen, S., 1999. Kurz- und langfristige Änderungen von Herzschlagvariabilität und Herzschlagfrequenz als Reaktion auf Veränderungen in der sozialen Umwelt (Gruppierung und Grooming-Simulation) von Hausschweinen. [Dissertation] Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Hansen, S., von Borell, E., 1999. Verhalten und Herzschlagvariabilität als Indikatoren für die kurz- und langfristige Änderungen der Befindlichkeit von Schweinen durch regelmäßige Grooming-Simulationen. *Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung*. KTBL-Schrift 391, 81-89.
- Harding, E.J., Paul, E.S., Mendl, M., 2004. Animal behavior - Cognitive bias and affective state. *Nature* 427, 312.
- Heffner, R.S., Heffner, H.E., 1990. Hearing in domestic pigs (*Sus-Scrofa*) and goats (*Capra-Hircus*). *Hearing Research* 48, 231-240.
- Hemsworth, P.H., 2007. Ethical stockmanship. *Australian Veterinary Journal* 85, 194-200.
- Hemsworth, P.H., Barnett, J.L., Campbell, R.G., 1996. A study of the relative aversiveness of a new daily injection procedure for pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 49, 389-401.
- Hemsworth, P.H., Barnett, J.L., 1991. The effects of aversively handling pigs, either individually or in groups, on their behavior, growth and Corticosteroids. *Applied Animal Behaviour Science* 30, 61-72.
- Hon, E.H., Lee, S.T., 1963. Electronic evaluation of fetal heart rate. VIII. Patterns preceding fetal death, further observations. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* 87, 814-826.
- Horn, A., 2003. Diagnostik der Herzfrequenzvariabilität in der Sportmedizin-Rahmenbedingungen und methodische Grundlagen. [Dissertation] Fakultät der Sportwissenschaft der Ruhr-Universität-Bochum.
- Hughes, B.O., Duncan, I.J.H., 1988. The notion of ethological need, models of motivation and animal-welfare. *Animal Behaviour* 36, 1696-1707.
- Imfeld-Mueller, S., Van Wezemaal, L., Stauffacher, M., Gygax, L., Hillmann, E., 2011. Do pigs distinguish between situations of different emotional valences during anticipation? *Applied Animal Behaviour Science* 131, 86-93.
- Inagaki, H., Kuwahara, M., Tsubone, H., 2004. Effects of psychological stress on autonomic control of heart in rats. *Experimental Animals* 53, 373-378.
- Jaskulke, S., Manteuffel, G., 2011. No apparent effect of an experimental narrow confinement on heart activity and cortisol in domestic pigs. *Animal* 5, 433-438.

- Jensen, P., Toates, F.M., 1993. Who needs behavioral needs - Motivational aspects of the needs of animals. *Applied Animal Behaviour Science* 37, 161-181.
- Kalbe, C., Puppe, B., 2010. Long-term cognitive enrichment affects opioid receptor expression in the amygdala of domestic pigs. *Genes Brain and Behavior* 9, 75-83.
- Kant, G.J., Eggleston, T., Landmanroberts, L., Kenion, C.C., Driver, G.C., Meyerhoff, J.L., 1985. Habituation to repeated stress is stressor specific. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 22, 631-634.
- Katz, R.J., Roth, K.A., Carroll, B.J., 1981. Acute and chronic stress effects on open field activity in the rat: Implications for a model of depression. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 5, 247-251.
- Kemp, A.H., Quintana, D.S., Gray, M.A., Felmingham, K.L., Brown, K., Gatt, J.M., 2010. Impact of depression and antidepressant treatment on heart rate variability: A review and meta-analysis. *Biological Psychiatry* 67, 1067-1074.
- Kirchner, J., Manteuffel, G., Schrader, L., 2012. Individual calling to the feeding station can reduce agonistic interactions and lesions in group housed sows. *Journal of Animal Science* 90, 5013-5020.
- Kleiger, R.E., Stein, P.K., Bosner, M.S., Rottman, J.N., 1992. Time domain measurements of heart rate variability. *Cardiology Clinics* 10, 487-498.
- Koch, M., Schnitzler, H.U., 1997. The acoustic startle response in rats - circuits mediating evocation, inhibition and potentiation. *Behavioural Brain Research* 89, 35-49.
- Koepchen, H.P., 1982. Zentralnervöse und reflektorische Steuerung der Herzfrequenz. In: Brisse, B., Bender, F.: *Autonome Innervation des Herzens*. Steinkopff, Steinkopff-Verlag Darmstadt.
- Konarska, M., Stewart, R.E., McCarty, R., 1990. Habituation and sensitization of plasma-catecholamine responses to chronic intermittent stress - Effects of stressor intensity. *Physiology & Behavior* 47, 647-652.
- Koolhaas, J.M., Fokkema, D.S., Bohus, B., van Oortmerssen, G.A., 1986. Individual differences in blood pressure reactivity and behavior of male rats. In: Schmidt, T.H., Dembroski, T.M. and Blümchen, G. (Editors), *Biological and Psychological Factors in Cardiovascular Disease*. Springer Verlag, Berlin, 517-526.
- Korte, S.M., Olivier, B., Koolhaas, J.M., 2007. A new animal welfare concept based on allostasis. *Physiology & Behavior* 92, 422-428.
- Korte, S.M., Bouws, G.A.H., Koolhaas, J.M., Bohus, B., 1992. Neuroendocrine and behavioral-responses during conditioned active and passive behavior in the defensive burying probe avoidance paradigm - Effects of Ipsapirone. *Physiology & Behavior* 52, 355-361.
- Kuhne, F., Hossler, J.C., Struwe, R., 2014. Behavioral and cardiac responses by dogs to physical human-dog contact. *Journal of Veterinary Behavior-Clinical Applications and Research* 9, 93-97.

- Kuwahara, M., Tsujino, Y., Tsubone, H., Kumagai, E., Tsutsumi, H., Tanigawa, M., 2004. Effects of pair housing on diurnal rhythms of heart rate and heart rate variability in miniature swine. *Experimental Animals* 53, 303-309.
- Kuwahara, M., Suzuki, A., Tsutsumi, H., Tanigawa, M., Tsubone, H., Sugano, S., 1999. Power spectral analysis of heart rate variability for assessment of diurnal variation of autonomic nervous activity in miniature swine. *Laboratory Animal Science* 49, 202-208.
- Kuwahara, M., Yayou, K., Ishii, K.J., Hashimoto, S., Tsubone, H., Sugano, S., 1994. Power spectral-analysis of heart-rate-variability as a new method for assessing autonomic activity in the rat. *Journal of Electrocardiology* 27, 333-337.
- Kuwahara, M., Huh, M.D., Hirose, H., Sugano, S., 1986. Alteration of the intrinsic heart-rate and autonomic nervous tone during the growing process of rats and pigs. *Japanese Journal of Veterinary Science* 48, 703-709.
- Kvetnansky, R., 1984. Catecholamines and Neuroendocrine Regulation. *Developments in Neuroscience* 17, 313-314.
- Ladewig, J., Rushen, J., Passille, A., Petherick, J., 1994. Man-animal relationships: can bulls learn to distinguish between friendly and unfriendly people. *Applied Animal Behaviour Science* 40, 87 (abstract).
- Lang, P.J., Davis, M., 2006. Emotion, motivation, and the brain: Reflex foundations in animal and human research. *Understanding Emotions* 156, 3-29.
- Langbein, J., Nurnberg, G., Manteuffel, G., 2004. Visual discrimination learning in dwarf goats and associated changes in heart rate and heart rate variability. *Physiology & Behavior* 82, 601-609.
- Langbein, J., Nurnberg, G., Manteuffel, G., 2003. Telemetric measurement of heart rate and heart rate variability for evaluating psychological stress induced by visual discrimination learning in dwarf goats. *Precision Livestock Farming*, 105-111.
- Langley, J.N. and Foster, M., 1888, 1896, 1899. A course of elementary practical physiology and histology. Macmillan and Co., London.
- Laukkanen, R.M.T., Virtanen, P.K., 1998. Heart rate monitors: State of the art. *Journal of Sports Sciences* 16, S3-S7.
- Lee, M.S., Rim, Y.H., Jcong, D.M., Kim, M.K., Joo, M.C., Shin, S.H., 2005. Nonlinear analysis of heart rate variability during Qi therapy (External Qigong). *American Journal of Chinese Medicine* 33, 579-588.
- Liu, J., Wei, W., Kuang, H., Tsien, J.Z., Zhao, F., 2014. Heart rate and heart rate variability assessment identifies individual differences in fear response magnitudes to earthquake, free fall, and air puff in mice. *Plos One* 9(3): e93270.
- Lorenz, K., 1939. Vergleichende Verhaltensforschung. *Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft* 41. 12, 69-102.
- MacLean, P.U., Kral, V.A., 1973. A Triune concept of the brain and behaviour. Ontario Mental Health Foundation by Univ. of Toronto Press., S. 165.

- Mahnhardt, S., Brietzke, J., Kanitz, E., Schön, P.C., Tuchscherer, A., Gimsa, U., Manteuffel, G., 2014. Anticipation and frequency of feeding affect heart reactions in domestic pigs. *Journal of Animal Science* 92, 4878-4887.
- Malik, M., 1995. Geometrical methods for heart rate variability assessment. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 47-61.
- Malliani, A., 1995. Association of heart rate variability with physiological regulatory mechanisms. In: Malik, M., Camm, A.J., (eds.) *Heart rate Variability*. Futura Publishing Company, Inc. Armonk, N.Y., 173-188.
- Malliani, A., Lombardi, F., Pagani, M., 1994. Power spectrum analysis of heart-rate-variability - A tool to explore neural regulatory mechanisms. *British Heart Journal* 71, 1-2.
- Manteuffel, C., Tuchscherer, A., Schmidt, M., Hoffmann, G., Schon, P.C., 2014. Using air-blow and floor vibration to trigger posture changes in gestating and lactating sows. *Computers and Electronics in Agriculture* 104, 105-110.
- Manteuffel, C., Schoen, P.C., Manteuffel, G., 2011. Beyond electronic feeding: The implementation of call feeding for pregnant sows. *Computers and Electronics in Agriculture* 79, 36-41.
- Manteuffel, G., Langbein, J., Puppe, B., 2009a. From operant teaming to cognitive enrichment in farm animal housing: bases and applicability. *Animal Welfare* 18, 87-95.
- Manteuffel, G., Langbein, J., Puppe, B., 2009b. Increasing farm animal welfare by positively motivated instrumental behaviour. *Applied Animal Behaviour Science* 118, 191-198.
- Manteuffel, G., Puppe, B., Schön, P.C., 2004. Vocalization of farm animals as a measure of welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 88, 163-182.
- Manteuffel, G.; Puppe, B. (1997): Ist die Beurteilung der subjektiven Befindlichkeit von Tieren möglich? Eine kritische Analyse aus naturwissenschaftlicher Sicht. *Arch. Tierz., Dummerdorf* 40, 109-121.
- Marchant, J.N., Rudd, A.R., Broom, D.M., 1997. The effects of housing on heart rate of gestating sows during specific behaviours. *Applied Animal Behaviour Science* 55, 67-78.
- Marchant-Forde, R.M., Marlin, D.J., Marchant-Forde, J.N., 2004. Validation of a cardiac monitor for measuring heart rate variability in adult female pigs: accuracy, artefacts and editing. *Physiology & Behavior* 80, 449-458.
- Marchant-Forde, J.N., Bradshaw, R.H., Marchant-Forde, R.M., Broom, D.M., 2003. A note on the effect of gestation housing environment on approach test measures in gilts. *Applied Animal Behaviour Science* 80, 287-296.
- Mason, G., Clubb, R., Latham, N., Vickery, S., 2007. Why and how should we use environmental enrichment to tackle stereotypic behaviour? *Applied Animal Behaviour Science* 102, 163-188.
- Mason, G.J., 1991. Stereotypies - A Critical-Review. *Animal Behaviour* 41, 1015-1037.

- Matheson, S.M., Asher, L., Bateson, M., 2008. Larger, enriched cages are associated with 'optimistic' response biases in captive European starlings (*Sturnus vulgaris*). *Applied Animal Behaviour Science* 109, 374-383.
- Matsunaga, M., Isowa, T., Kimura, K., Miyakoshi, M., Kanayama, N., Murakami, H., Fukuyama, S., Shinoda, J., Yamada, J., Konagaya, T., Kaneko, H., Ohira, H., 2009. Associations among positive mood, brain, and cardiovascular activities in an affectively positive situation. *Brain Research* 1263, 93-103.
- Matthews, L.R., Ladewig, J., 1994. Environmental requirements of pigs measured by behavioral demand-functions. *Animal Behaviour* 47, 713-719.
- McCraty, R., Atkinson, M., Tiller, W.A., Rein, G., Watkins, A.D., 1995. The effects of emotions on short-term power spectrum analysis of heart-rate-Variability. *American Journal of Cardiology* 76, 1089-1093.
- Meehan, C.L., Mench, J.A., 2007. The challenge of challenge: Can problem solving opportunities enhance animal welfare? *Applied Animal Behaviour Science* 102, 246-261.
- Mendl, M., Burman, O.H., Paul, E.S., 2010a. An integrative and functional framework for the study of animal emotion and mood. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* 277, 2895-2904.
- Mendl, M., Held, S., Bryne, R.W., 2010b. Pig cognition. *Current Biology* 20, R796-R798.
- Mendl, M., Burman, O.H., Parker, R.M., Paul, E.S., 2009. Cognitive bias as an indicator of animal emotion and welfare: Emerging evidence and underlying mechanisms. *Applied Animal Behaviour Science* 118, 161-181.
- Mendl, M., Paul, E.S., 2004. Consciousness, emotion and animal welfare: insights from cognitive science. *Animal Welfare* 13, S17-S25.
- Meyer, S., Puppe, B., Langbein, J., 2010. Cognitive enrichment in zoo and farm animals - implications for animal behaviour and welfare. *Berliner und Munchener Tierarztliche Wochenschrift* 123, 446-456.
- Moe, R.O., Bakken, M., Kittilsen, S., Kingsley-Smith, H., Spruijt, B.M., 2006. A note on reward-related behaviour and emotional expressions in farmed silver foxes (*Vulpes vulpes*)-Basis for a novel tool to study animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science* 101, 362-368.
- Mohr, E., Langbein, J., Nürnberg, G., 2001. Heart rate variability: A noninvasive approach to measure stress in calves and cows. *Physiology & Behavior* 75, 251-259.
- Montgomery, K.C., 1955. The Relation Between Fear Induced by Novel Stimulation and Exploratory Behavior. *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 48, 254-260.
- Mormede, P., Andanson, S., Auperin, B., Beerda, B., Guemene, D., Malnikvist, J., Manteca, X., Manteuffel, G., Prunet, P., van Reenen, C.G., Richard, S., Veissier, I., 2007. Exploration of the hypothalamic-pituitary-adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiology & Behavior* 92, 317-339.

- Murphy, E., Nordquist, R.E., van der Staay, F.J., 2014. A review of behavioural methods to study emotion and mood in pigs, *Sus scrofa*. *Applied Animal Behaviour Science* 159, 9-28.
- Napolitano, F., Girolami, A., Braghieri, A., 2010. Consumer liking and willingness to pay for high welfare animal-based products. *Trends in Food Science & Technology* 21, 537-543.
- Obrist, P.A., Light, K.C., James, S.A., Strogatz, D.S., 1987. Cardiovascular-responses to stress: 1. Measures of myocardial response and relationship to high resting systolic pressure and parental hypertension. *Psychophysiology* 24, 65-78.
- Pagani, M., Lucini, D., Rimoldi, O., Furlan, R., Piazza, S., and Biancardi, L., 1995. Heart rate variability, chapter: Effects of physical and mental exercise on heart rate variability, Futura Publishing Company, Inc, 245-266.
- Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Furlan, R., Pizzinelli, P., Sandrone, G., Malfatto, G., Dellorto, S., Piccaluga, E., Turiel, M., Baselli, G., Cerutti, S., Malliani, A., 1986. Power spectral-analysis of heart-rate and arterial-pressure variabilities as a marker of sympathovagal interaction in man and conscious dog. *Circulation Research* 59, 178-193.
- Pardo, Y., Merz, C.N.B., Paul-Labrador, M., Velasquez, I., Gottdiener, J.S., Kop, W.J., Krantz, D.S., Rozanski, A., Klein, J., Peter, T., 1996. Heart rate variability reproducibility and stability using commercially available equipment in coronary artery disease with daily life myocardial ischemia. *The American Journal of Cardiology* 78, 866-870.
- Paul, E.S., Harding, E.J., Mendl, M., 2005. Measuring emotional processes in animals: the utility of a cognitive approach. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 29, 469-491.
- Pomeranz, B., Macaulay, R.J.B., Caudill, M.A., Kutz, I., Adam, D., Gordon, D., Kilborn, K.M., Barger, A.C., Shannon, D.C., Cohen, R.J., Benson, H., 1985. Assessment of autonomic function in humans by heart-rate spectral-analysis. *American Journal of Physiology* 248, H151-H153.
- Porges, S.W., 2003. The polyvagal theory: phylogenetic contributions to social behavior. *Physiology & Behavior* 79, 503-513.
- Porges, S.W., 1995a. Cardiac vagal tone - A physiological index of stress. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 19, 225-233.
- Porges, S.W., 1995b. Orienting in a defensive world - Mammalian modifications of our evolutionary heritage - A polyvagal theory. *Psychophysiology* 32, 301-318.
- Posner, J., Russell, J.A., Peterson, B.S., 2005. The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Development and Psychopathology* 17, 715-734.
- Puppe, B., Zebunke, M., Duepjan, S., Langbein, J., 2012. Cognitive and emotional coping with the environment in the domestic pig - a challenge for animal husbandry and welfare. *Zuchtungskunde* 84, 307-319.

- Puppe, B., Ernst, K., Schon, P.C., Manteuffel, G., 2007. Cognitive enrichment affects behavioural reactivity in domestic pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 105, 75-86.
- Reefmann, N., Kaszas, F.B., Wechsler, B., Gygax, L., 2009a. Physiological expression of emotional reactions in sheep. *Physiology & Behavior* 98, 235-241.
- Reefmann, N.N.R.c., Wechsler, B., Gygax, L., 2009b. Behavioural and physiological assessment of positive and negative emotion in sheep. *Animal Behaviour* 78, 651-659.
- Robert, S., Bergeron, R., Farmer, C., Meunier-Salaun, M.C., 2002. Does the number of daily meals affect feeding motivation and behaviour of gilts fed high-fibre diets? *Applied Animal Behaviour Science* 76, 105-117.
- Ruis, M.A., te Brake, J.H., van de Burgwal, J.A., de Jong, I.C., Blokhuis, H.J., Koolhaas, J.M., 2000. Personalities in female domesticated pigs: Behavioural and physiological indications. *Applied Animal Behaviour Science* 66, 31-47.
- Rushen, J., Depassille, A.M.B., Schouten, W., 1990. Stereotypic behavior, endogenous opioids, and postfeeding hypoalgesia in pigs. *Physiology & Behavior* 48, 91-96.
- Rybalko, N., Bures, Z., Burianova, J., Popelar, J., Grecova, J., Syka, J., 2011. Noise exposure during early development influences the acoustic startle reflex in adult rats. *Physiology & Behavior* 102, 453-458.
- Sambrook, T.D., Buchanan Smith, H.M., 1997. Control and complexity in novel object enrichment. *Animal Welfare* 6, 207-216.
- Sayers, B.M., 1973. Analysis of heart-rate variability. *Ergonomics* 16, 17-32.
- Schnall, S., 2010. Affect, mood and emotions. In: McGaw, P.P.B. (Ed.), *International Encyclopedia of Education (Third Edition)*, Elsevier, Oxford, pp. 544-548.
- Scholz, U.J., Bianchi, A.M., Cerutti, S., Kubicki, S., 1997. Vegetative background of sleep: Spectral analysis of the heart rate variability. *Physiology & Behavior* 62, 1037-1043.
- Schouten, W., Rushen, J., Depassille, A.M.B., 1991. Stereotypic behavior and heart-rate in pigs. *Physiology & Behavior* 50, 617-624.
- Schrader, L., Ladewig, J., 1999. Temporal differences in the responses of the pituitary adrenocortical axis, the sympathoadrenomedullar axis, heart rate, and behaviour to a daily repeated stressor in domestic pigs. *Physiology & Behavior* 66, 775-783.
- Schwartz, J.B., Gibb, W.J., Tran, T., 1991. Aging effects on heart-rate variation. *Journals of Gerontology* 46, M99-M106.
- Selye, H., 1936. A syndrome produced by diverse nocuous agents. *Nature [London]* 138, 32.
- Sgoifo, A., De Boer, S.F., Westenbroek, C., Maes, F.W., Beldhuis, H., Suzuki, T., Koolhaas, J.M., 1997. Incidence of arrhythmias and heart rate variability in wild-type rats exposed to social stress. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology* 273, H1754-H1760.

- Signoret, J., 1969. Das Verhalten von Schweinen. In Porzig: Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 264–330.
- Spruijt, B.M., van den Bos, R., Pijlman, F.T.A., 2001. A concept of welfare based on reward evaluating mechanisms in the brain: anticipatory behaviour as an indicator for the state of reward systems. *Applied Animal Behaviour Science* 72, 145-171.
- Stapelberg, N.J., Hamilton-Craig, I., Neumann, D.L., Shum, D.H.K., McConnell, H., 2012. Mind and heart: Heart rate variability in major depressive disorder and coronary heart disease - a review and recommendations. *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry* 46, 946-957.
- Stiedl, O., Jansen, R.F., Pieneman, A.W., Ogren, S.O., Meyer, M., 2009. Assessing aversive emotional states through the heart in mice: Implications for cardiovascular dysregulation in affective disorders. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 33, 181-190.
- Studnitz, M., Jensen, M.B., Pedersen, L.J., 2007. Why do pigs root and in what will they root? A review on the exploratory behaviour of pigs in relation to environmental enrichment. *Applied Animal Behaviour Science* 107, 183-197.
- Swaisgood, R.R., 2007. Current status and future directions of applied behavioral research for animal welfare and conservation. *Applied Animal Behaviour Science* 102, 139-162.
- Tarou, L.R., Bashaw, M.J., 2007. Maximizing the effectiveness of environmental enrichment: Suggestions from the experimental analysis of behavior. *Applied Animal Behaviour Science* 102, 189-204.
- Taylor, A.A., Weary, D.M., Lessard, M., Braithwaite, L., 2001. Behavioural responses of piglets to castration: the effect of piglet age. *Applied Animal Behaviour Science* 73, 35-43.
- Teff, K.L., 2008. Visceral nerves: Vagal and sympathetic innervation. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 32, 569-571.
- Tewes, U., 1999. Essay: Psychoneuroimmunologie. *Lexikon der Biologie. Psychoneuroimmunologie.* Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Thayer, J.F., Lane, R.D., 2009. Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 33, 81-88.
- Thayer, J.F., Sternberg, E., 2006. Beyond heart rate variability - Vagal regulation of allostatic systems. *Neuroendocrine and Immune Crosstalk* 1088, 361-372.
- Tierschutzgesetzgebung: 2010. Konsolidierte Fassungen des Vertrags über die Europäische Union und des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union. OJ C 83, 30.3.2010, 1-388 (BG, ES, CS, DA, DE, ET, EL, EN, FR, GA, IT, LV, LT, HU, MT, NL, PL, PT, RO, SK, SL, FI, SV).
- Tinbergen, N., 1952. "Derived" activities; their causation, biological significance, origin, and emancipation during evolution. *Quarterly Review of Biology* 27, 1-32.

- Toates, F., 2004. Cognition, motivation, emotion and action: a dynamic and vulnerable interdependence. *Applied Animal Behaviour Science* 86, 173-204.
- Tuchscherer, M., Manteuffel, G., 2000. The effect of psycho stress on the immune system. Another reason for pursuing animal welfare (Review). *Archiv für Tierzucht-Archives of Animal Breeding* 43, 547-560.
- van der Harst, J.E., Fermont, P.C.J., Bilstra, A.E., Spruijt, B.M., 2003. Access to enriched housing is rewarding to rats as reflected by their anticipatory behaviour. *Animal Behaviour* 66, 493-504.
- van Erp-van der Kooij, E., Kuijpers, A.H., van Eerdenburg, F.J.C.M., Dieleman, S.J., Blankenstein, D.M., Tielen, M.J.M., 2003. Individual behavioural characteristics in pigs - influences of group composition but no differences in cortisol responses. *Physiology & Behavior* 78, 479-488.
- Veissier, I., Boissy, A., 2007. Stress and welfare: Two complementary concepts that are intrinsically related to the animal's point of view. *Physiology & Behavior* 92, 429-433.
- Veissier, I., Leneindre, P., 1988. Cortisol responses to physical and pharmacological stimuli in heifers. *Reproduction Nutrition Development* 28, 553-562.
- Vinke, C.M., Van Den, R.B., Spruijt, B.M., 2004. Anticipatory activity and stereotypical behaviour in American mink (*Mustela vison*) in three housing systems differing in the amount of enrichments. *Applied Animal Behaviour Science* 89, 145-161.
- Vitale, V., Balocchi, R., Varanini, M., Sgorbini, M., Macerata, A., Sighieri, C., Baragli, P., 2013. The effects of restriction of movement on the reliability of heart rate variability measurements in the horse (*Equus caballus*). *Journal of Veterinary Behavior-Clinical Applications and Research* 8, 400-403.
- von Borell, E., Langbein, J., Despres, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant-Forde, J., Marchant-Forde, R., Minero, M., Mohr, E., Prunier, A., Valance, D., Veissier, I., 2007. Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals - A review. *Physiology & Behavior* 92, 293-316.
- von Borell, E., Ladewig, J., 1992. Relationship Between Behaviour and Adrenocortical Response Pattern in Domestic Pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 34, 195-206.
- von Engelhardt, W., Breves, G., 2005. *Physiologie der Haustiere*. 2. Auflage, Enke Verlag.
- Waite, C., Buchanan-Smith, H.M., 2001. What time is feeding? How delays and anticipation of feeding schedules affect stump-tailed macaque behavior. *Applied Animal Behaviour Science* 75, 75-85.
- Weary, D.M., Braithwaite, L.A., Fraser, D., 1998. Vocal response to pain in piglets. *Applied Animal Behaviour Science* 56, 161-172.
- Webster, S.D., Jones, A.R., 1998. Individual variation in the heart rate of piglets; evidence against stable differences. *Applied Animal Behaviour Science* 55, 269-278.
- Wechsler, B., 1995. Coping and coping strategies - A behavioral view. *Applied Animal Behaviour Science* 43, 123-134.

- Weiss, J.M., 1971. Effects of coping behavior with and without a feedback signal on stress pathology in rats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 77, 1-13.
- Wiepkema, P.R., Koolhaas, J.M., 1992. The emotional brain. *Animal Welfare* 1, 13-18.
- Wemelsfelder, F., 1993. The concept of animal boredom and its relationship to stereotyped behaviour. In: Lawrence, A.B., Rushen, J. (Eds.), *Stereotypic animal behaviour: Fundamentals and applications to welfare*. CAB International, Wallingford, UK, 65-95.
- Yamamoto, Y., Hughson, R.L., Peterson, J.C., 1991. Autonomic control of heart-rate during exercise studied by heart-rate-variability spectral-analysis. *Journal of Applied Physiology* 71, 1136-1142.
- Yeates, J.W., Main, D.C.J., 2008. Assessment of positive welfare: A review. *Veterinary Journal* 175, 293-300.
- Zebunke, M., Puppe, B., Langbein, J., 2013. Effects of cognitive enrichment on behavioural and physiological reactions of pigs. *Physiology & Behavior* 118, 70-79.
- Zebunke, M., Langbein, J., Manteuffel, G., Puppe, B., 2011. Autonomic reactions indicating positive affect during acoustic reward learning in domestic pigs. *Animal Behaviour* 81, 481-489.
- Zebunke, M., 2009. Affektive und emotionale Reaktionen von Schweinen im Kontext von kognitiver Umweltsanreicherung. Ein Beitrag zur Verbesserung des Wohlbefindens landwirtschaftlicher Nutztiere. [Dissertation] Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock.
- Zimmerman, P., Buijs, S., Bolhuis, J., Keeling, L., 2011. Behaviour of domestic fowl in anticipation of positive and negative stimuli. *Animal Behaviour* 81, 569-577.

Anhang

Tab. 14: Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität der Frequenzbereichsanalyse.

| Faktoren und Interaktionen | HF (ms²) | LF (ms²) | VLF (ms²) | HF n.u. | LF n.u. | LF/HF |
|---|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Durchgang | F=3,78; p<0,001 | F=3,06; p<0,001 | F=3,80; p<0,001 | F=2,41; p<0,01 | F=2,42; p<0,01 | F=2,59; p<0,01 |
| Versuchstag | F=7,75; p<0,001 | F=5,30; p<0,001 | F=0,88; p=0,48 | F=2,55; p<0,05 | F=2,55; p<0,05 | F=1,30; p=0,27 |
| Behandlung | F=0,67; p=0,65 | F=1,75; p=0,13 | F=1,00; p=0,42 | F=0,77; p=0,58 | F=0,77; p=0,55 | F=1,90; p=0,10 |
| Zeit | F=51,67; p<0,001 | F=3,58; p<0,1 | F=0,71; p=0,40 | F=112,90; p<0,001 | F=112,90; p<0,001 | F=100,45; p<0,001 |
| Messminute | F=24,70; p<0,001 | F=1,21; p=0,30 | F=1,36; p=0,34 | F=45,16; p<0,001 | F=45,16; p<0,001 | F=15,18; p<0,001 |
| Versuchstag × Behandlung | F=1,76; p<0,05 | F=1,01; p=0,44 | F=0,80; p=0,71 | F=0,93; p=0,55 | F=0,93; p=0,55 | F=1,26; p=0,20 |
| Versuchstag ×Zeit | F=1,67; p=0,15 | F=0,83; p=0,51 | F=0,77; p=0,55 | F=1,00; p=0,41 | F=1,00; p=0,40 | F=0,99; p=0,41 |
| Behandlung ×Zeit | F=10,61; p<0,001 | F=3,26; p<0,01 | F=1,27; p=0,27 | F=0,51; p=0,77 | F=0,51; p=0,77 | F=1,31; p=0,26 |
| Versuchstag ×Behandlung ×Zeit | F=0,93; p=0,56 | F=0,89; p=0,60 | F=0,89; p=0,60 | F=0,81; p=0,70 | F=0,81; p=0,70 | F=0,71; p=0,82 |
| Versuchstag ×Messminute | F=0,73; p=0,80 | F=0,68; p=0,85 | F=0,77; p=0,74 | F=0,81; p=0,71 | F=0,81; p=0,71 | F=0,75; p=0,77 |
| Behandlung×Messminute | F=7,17; p<0,001 | F=8,62; p<0,001 | F=2,60; p<0,01 | F=5,11; p<0,001 | F=5,11; p<0,001 | F=3,24; p<0,01 |
| Versuchstag ×Behandlung ×Messminute | F=1,04; p=0,40 | F=1,14; p=0,27 | F=0,92; p=0,60 | F=1,16; p=0,24 | F=1,16; p=0,24 | F=1,49; p<0,05 |
| Zeit×Messminute | F=1,81; p=0,11 | F=1,00; p=0,41 | F=1,21; p=0,31 | F=2,38; p<0,05 | F=2,38; p<0,05 | F=4,86; p<0,001 |
| Versuchstag ×Zeit ×Messminute | F=0,51; p=0,96 | F=1,33; p=0,14 | F=1,54; p<0,1 | F=0,61; p=0,91 | F=0,61; p=0,91 | F=0,98; p=0,49 |
| Behandlung ×Zeit ×Messminute | F=3,79; p<0,001 | F=0,78; p=0,62 | F=1,45; p=0,17 | F=0,92; p=0,50 | F=0,92; p=0,50 | F=0,50; p=0,86 |

Tab. 15: Veränderung der Herzfrequenz (HR) aufgrund der unterschiedlichen Behandlungen während der Messminuten in LSM±SE. Tendenzielle und signifikante Unterschiede der Messminuten innerhalb der Behandlungsgruppen und zwischen den Behandlungsgruppen (kursiv). Nur sinnvolle Unterschiede sind dargestellt. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen)

| Parameter | Behandlung | Messminute | LSM±SE | t-Wert | p-Wert |
|-----------|------------|-------------------------------|-------------|---|---------------------------------------|
| HR | AF | Min-vor-Ton (MvT) | 143,14±2,43 | MvT zur TM mit t=6,34; MvT zur MnTFg mit t=14,98; MvT zur TM mit t=8,37 | p<0,001 p<0,001 p<0,001 |
| | AF | Tonminute (TM) | 149,76±2,44 | <i>TM (AF) zur TM (FF) mit t=3,58</i> | <i>p<0,05</i> |
| | AF | Min-nach-Ton-Fg (MnTFg) | 158,49±2,43 | <i>MnTFg (AF) zur MnTLg(AL) mit t=4,21;</i> <i>MnFg (AF) zur MnTFg/Lg (FF) mit t=5,93</i> | <i>p<0,01</i> <i>p<0,001</i> |
| | AL | Min-vor-Ton (MvT) | 142,15±2,20 | | |
| | AL | Tonminute (TM) | 141,29±2,21 | | |
| | AL | Min-nach-Ton-Lg (MnTLg) | 144,67±2,22 | <i>MnTLg (AL) zur MnTFg (AKF/L) mit t=4,28;</i> <i>MnTLg (AL) zur MnTLg (AKF/L) mit t=3,43</i> | <i>p<0,01</i> <i>p=0,07</i> |
| | AKF/L | Min-vor-Ton (MvT) | 143,89±2,20 | MvT zur MnTFg mit t=10,46; MvT zur MnTLg mit t=8,04 | p<0,001 p<0,001 |
| | AKF/L | Tonminute (TM) | 145,76±2,20 | TM zur MnTFg mit t=8,99; TM zur MnTLg mit t=6,68 | p<0,001 p<0,001 |
| | AKF/L | Min-nach-Ton-Fg (MnTFg) | 157,66±2,34 | <i>MnTFg (AKF/L) zur MnTFg/Lg (FF) mit t=5,77</i> | <i>p<0,001</i> |
| | AKF/L | Min-nach-Ton-Lg (MnTLg) | 155,08±2,37 | <i>MnTLg (AKF/L) zur MnTFg/Lg (FF) mit t=4,97</i> | <i>p<0,001</i> |
| | RF | Min-vor-E (MvE) | 146,25±2,33 | MvE zur MnEFg mit t=15,17 | p<0,001 |
| | RF | Min-nach-E-Fg (MnEFg) | 161,22±2,33 | <i>MnEFg (RF) zur MnELg (RL) mit t=3,94;</i> <i>MnEFg (RF) zur MnEFg/Lg (FF) mit t=5,76</i> | <i>p<0,05</i> <i>p<0,001</i> |
| | RL | Min-vor-E (MvE) | 144,87±2,34 | MvE zur MnELg mit t=3,31 | p=0,09 |
| | RL | Min-nach-E-Lg (MnELg) | 148,21±2,34 | | |
| | FF | Min-vor-Ton (MvT) | 136,64±2,34 | MvT zur MnEFg/Lg mit t=5,79 | p<0,001 |
| | FF | Tonminute (TM) | 137,66±2,34 | TM zur MnEFg/Lg mit t=4,68 | p<0,001 |
| | FF | Min-nach-Ton-Fg/Lg (MnTFg/Lg) | 138,49±2,34 | MnTFg/Lg zur MnEFg/Lg mit t=3,79 | p<0,05 |
| | FF | Min-vor-E (MvE) | 138,18±2,32 | MvE zur MnEFg/Lg mit t=4,36 | p<0,05 |
| | FF | Min-nach-E-Fg/Lg (MnEFg/Lg) | 142,26±2,32 | | |

Tab. 16: Veränderung der Herzfrequenzvariabilität (RMSSD) aufgrund der unterschiedlichen Behandlungen während der Messminuten in $LSM \pm SE$. Tendenzielle und signifikante Unterschiede der Messminuten innerhalb der Behandlungsgruppen und zwischen den Behandlungsgruppen (kursiv). Nur sinnvolle Unterschiede sind dargestellt. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen)

| Parameter | Behandlung | Messminute | LSM \pm SE | t-Wert | p-Wert |
|--------------|------------|-------------------------------|------------------|---|--------------------|
| RMSSD | AF | Min-vor-Ton (MvT) | 16,23 \pm 1,17 | MvT zur MnTFg mit t=4,71 | p<0,001 |
| | AF | Tonminute (TM) | 17,03 \pm 1,18 | TM zur MnTFg mit t=5,63 | p<0,001 |
| | AF | Min-nach-Ton-Fg (MnTFg) | 12,57 \pm 1,17 | | |
| | AL | Min-vor-Ton (MvT) | 16,30 \pm 1,11 | | |
| | AL | Tonminute (TM) | 18,08 \pm 1,11 | | |
| | AL | Min-nach-Ton-Lg (MnTLg) | 15,86 \pm 1,13 | | |
| | AKF/L | Min-vor-Ton (MvT) | 15,46 \pm 1,11 | MvT zur TM mit t=3,66 | p<0,05 |
| | AKF/L | Tonminute (TM) | 18,40 \pm 1,11 | TM zur MnTFg mit t=5,18; TM zur MnTLg mit t=6,04 | p<0,001 p<0,001 |
| | AKF/L | Min-nach-Ton-Fg (MnTFg) | 13,21 \pm 1,27 | | |
| | AKF/L | Min-nach-Ton-Lg (MnTLg) | 12,00 \pm 1,30 | | |
| | RF | Min-vor-E (MvE) | 14,39 \pm 1,12 | MvE zur MnEFg mit t=4,15 | p<0,01 |
| | RF | Min-nach-E-Fg (MnEFg) | 11,29 \pm 1,12 | | |
| | RL | Min-vor-E (MvE) | 12,03 \pm 1,13 | | |
| | RL | Min-nach-E-Lg (MnELg) | 12,03 \pm 1,13 | | |
| | FF | Min-vor-Ton (MvT) | 14,05 \pm 1,13 | | |
| | FF | Tonminute (TM) | 14,46 \pm 1,13 | | |
| | FF | Min-nach-Ton-Fg/Lg (MnTFg/Lg) | 15,34 \pm 1,14 | | |
| | FF | Min-vor-E (MvE) | 13,46 \pm 1,11 | | |
| | FF | Min-nach-E-Fg/Lg (MnEFg/Lg) | 13,06 \pm 1,11 | | |

Tab. 17: Veränderung der Herzfrequenzvariabilität (SDNN) aufgrund der unterschiedlichen Behandlungen während der Messminuten in LSM±SE. Tendenzielle und signifikante Unterschiede der Messminuten innerhalb der Behandlungsgruppen und zwischen den Behandlungsgruppen (kursiv). Nur sinnvolle Unterschiede sind dargestellt. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen)

| Parameter | Behandlung | Messminute | LSM±SE | t-Wert | p-Wert |
|-----------|------------|-------------------------------|------------|---|---------------------------------------|
| SDNN | AF | Min-vor-Ton (MvT) | 24,53±1,33 | MvT zur MnTFg mit t=6,78 | p<0,001 |
| | AF | Tonminute (TM) | 30,86±1,35 | TM zur MnTFg mit t=8,84; <i>TM (AF) zur TM (FF) mit t=3,65</i> | p<0,001 <i>p<0,05</i> |
| | AF | Min-nach-Ton-Fg (MnTFg) | 22,60±1,34 | <i>MnTFg (AF) zur MnTLg(AL) mit t=5,41</i> | <i>p<0,001</i> |
| | AL | Min-vor-Ton (MvT) | 26,43±1,28 | MvT zur MnTLg mit t=6,66 | p<0,001 |
| | AL | Tonminute (TM) | 28,25±1,28 | TM zur MnTLg mit t=4,71 | p<0,001 |
| | AL | Min-nach-Ton-Lg (MnTLg) | 32,66±1,29 | <i>MnTLg (AL) zur MnTFg (AKF/L) mit t=5,55;</i> <i>MnTLg (AL) zur MnTLg (AKF/L) mit t=4,31</i> | <i>p<0,001</i> <i>p<0,01</i> |
| | AKF/L | Min-vor-Ton (MvT) | 23,95±1,27 | MvT zur TM mit t=5,49 | p<0,001 |
| | AKF/L | Tonminute (TM) | 29,13±1,28 | TM zur MnTFg mit t=6,03 TM zur MnTLg mit t=3,89 | p<0,001 p<0,05 |
| | AKF/L | Min-nach-Ton-Fg (MnTFg) | 22,02±1,46 | | |
| | AKF/L | Min-nach-Ton-Lg (MnTLg) | 24,28±1,51 | | |
| | RF | Min-vor-E (MvE) | 22,76±1,28 | | |
| | RF | Min-nach-E-Fg (MnEFg) | 23,64±1,28 | | |
| | RL | Min-vor-E (MvE) | 21,75±1,29 | MvE zur MnEFg mit t=5,83 | p<0,001 |
| | RL | Min-nach-E-Lg (MnELg) | 27,00±1,29 | | |
| | FF | Min-vor-Ton (MvT) | 23,22±1,29 | MvT zur MnEFg/Lg mit t=4,34 | p<0,01 |
| | FF | Tonminute (TM) | 24,04±1,29 | TM zur MnEFg/Lg mit t=3,42 | p=0,07 |
| | FF | Min-nach-Ton-Fg/Lg (MnTFg/Lg) | 27,21±1,29 | MnTFg/Lg zur MvE mit t=3,99 | p<0,01 |
| | FF | Min-vor-E (MvE) | 23,65±1,27 | | |
| | FF | Min-nach-E-Fg/Lg (MnEFg/Lg) | 25,91±1,26 | | |

Tab. 18: Veränderung der Herzfrequenzvariabilität (RMSSD/SDNN) aufgrund der unterschiedlichen Behandlungen während der Messminuten in LSM±SE. Tendenzielle und signifikante Unterschiede der Messminuten innerhalb der Behandlungsgruppen und zwischen den Behandlungsgruppen (kursiv). Nur sinnvolle Unterschiede sind dargestellt. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen)

| Parameter | Behandlung | Messminute | LSM±SE | t-Wert | p-Wert |
|----------------|------------|-------------------------------|-----------|---|-------------------|
| RMSSD/ SDNN | AF | Min-vor-Ton (MvT) | 0,67±0,02 | MvT zur TM mit t=5,09; MvT zur MnTFg mit t=3,88 | p<0,001 p<0,05 |
| | AF | Tonminute (TM) | 0,57±0,02 | TM zur MnTFg mit t=5,63 | p<0,001 |
| | AF | Min-nach-Ton-Fg (MnTFg) | 0,60±0,02 | <i>MnTFg (AF) zur MnTLg(AL) mit t=3,58</i> | <i>p<0,05</i> |
| | AL | Min-vor-Ton (MvT) | 0,64±0,02 | MvT zur MnTLg mit t=8,37 | p<0,001 |
| | AL | Tonminute (TM) | 0,65±0,02 | TM zur MnTLg mit t=8,87 | p<0,001 |
| | AL | Min-nach-Ton-Lg (MnTLg) | 0,48±0,02 | <i>MnTLg (AL) zur MnTFg (AKF/L) mit t=4,18</i> | <i>p<0,01</i> |
| | AKF/L | Min-vor-Ton (MvT) | 0,66±0,02 | MvT zur MnTLg mit t=5,68 | p<0,001 |
| | AKF/L | Tonminute (TM) | 0,64±0,02 | TM zur MnTLg mit t=5,08 | p<0,001 |
| | AKF/L | Min-nach-Ton-Fg (MnTFg) | 0,63±0,03 | MnTFg zur MnTLg mit t=3,89 | p<0,05 |
| | AKF/L | Min-nach-Ton-Lg (MnTLg) | 0,52±0,03 | | |
| | RF | Min-vor-E (MvE) | 0,64±0,02 | MvE zur MnEFg mit t=6,95 | p<0,001 |
| | RF | Min-nach-E-Fg (MnEFg) | 0,52±0,02 | | |
| | RL | Min-vor-E (MvE) | 0,59±0,02 | MvE zur MnELg mit t=7,14 | p<0,001 |
| | RL | Min-nach-E-Lg (MnELg) | 0,47±0,02 | | |
| | FF | Min-vor-Ton (MvT) | 0,62±0,02 | MvT zur MnTFg/Lg mit t=4,17; MvT zur MnEFg/Lg mit t=5,10 | p<0,01 p<0,001 |
| | FF | Tonminute (TM) | 0,61±0,02 | TM zur MnTFg/Lg mit t=3,46; TM zur MnEFg/Lg mit t=4,34 | p=0,06 p<0,01 |
| | FF | Min-nach-Ton-Fg/Lg (MnTFg/Lg) | 0,55±0,02 | | |
| | FF | Min-vor-E (MvE) | 0,61±0,02 | MvE zur MnEFg/Lg mit t=4,27; MvE zur MnTFg/Lg mit t=3,32 | p<0,01 p=0,09 |
| | FF | Min-nach-E-Fg/Lg (MnEFg/Lg) | 0,54±0,02 | | |

Tab. 19: Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität bei der Zeitbereichsanalyse während des Tonsignals.

| Faktoren und Interaktionen | HR | RMSSD | SDNN | RMSSD/SDNN |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|----------------|
| Durchgang | F=0,86; p=0,61 | F=1,43; p=0,81 | F=1,66; p<0,1 | F=1,51; p=1,45 |
| Versuchstag | F=7,06; p<0,001 | F=3,66; p<0,01 | F=0,23; p=0,92 | F=2,16; p<0,1 |
| Behandlung | F=6,95; p<0,001 | F=2,42; p<0,1 | F=10,02; p<0,001 | F=4,30; p<0,01 |
| Zeit | F=23,31; p<0,001 | F=4,10; p<0,05 | F=1,13; p=0,29 | F=3,77; p<0,1 |
| Versuchstag×Behandlung | F=2,46; p<0,01 | F=1,70; p<0,1 | F=1,01; p=0,44 | F=0,99; p=0,46 |
| Behandlung×Zeit | F=5,00; p<0,01 | F=2,93; p<0,05 | F=0,76; p=0,52 | F=0,83; p=0,48 |
| Versuchstag×Zeit | F=0,27; p=0,90 | F=0,45; p=0,77 | F=2,01; p<0,1 | F=1,84; p=0,12 |
| Versuchstag×Behandlung×Zeit | F=0,57; p=0,87 | F=0,99; p=0,46 | F=0,92; p=0,53 | F=0,53; p=0,89 |

Tab. 20: Darstellung der Parameteränderung während der Tonminute der jeweiligen Behandlungsgruppe in LSM±SE. AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, FF: feste Fütterung als Kontrolle (Messminuten entsprechend den anderen Gruppen)

| Parameter | Behandlung | LSM±SE | t-Wert | p-Wert |
|--------------|---------------|------------|--|-----------------------------|
| ΔHR | AF | 6,18±1,10 | AF zu AL mit t=4,34 AF zu AKF/L mit t=2,99 AF zu FF mit t=3,45 | p<0,001 p<0,05 p<0,01 |
| | AL | -0,77±1,09 | | |
| | AKF/L | 1,42±1,09 | | |
| | FF | 0,70±1,09 | | |
| | ΔRMSSD | AF | 1,13±0,63 | |
| | AL | 1,90±0,60 | | |
| | AKF/L | 2,64±0,60 | AKF/L zu FF mit t=2,55 | p<0,1 |
| | FF | 0,49±0,59 | | |
| ΔSDNN | AF | 6,83±0,91 | AF zu AL mit t=4,23 AF zu FF mit t=4,57 | p<0,001 p<0,001 |
| | AL | 1,54±0,90 | AL zu AKF/L mit t=3,01 | p<0,05 |
| | AKF/L | 5,22±0,90 | AKF/L zu FF mit t=3,31 | p<0,01 |
| | FF | 1,19±0,90 | | |

Fortsetzung der Tabelle 20: Darstellung der Parameteränderung während der Tonminute der jeweiligen Behandlungsgruppe in LSM±SE. AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, FF: feste Fütterung als Kontrolle

| | | | | |
|--------------------|-------|------------|--|-----------------|
| ARMSSD/SDNN | AF | -0,09±0,02 | AF zu AL mit t=3,50 AF zu FF mit t=2,55 | p<0,01 p<0,1 |
| | AL | 0,02±0,02 | | |
| | AKF/L | -0,02±0,02 | AKF/L zu FF mit t=2,55 | p<0,1 |
| | FF | -0,01±0,02 | | |

Tab. 21: Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität bei der Frequenzbereichsanalyse der Basalmessungen.

| Faktoren und Interaktionen | HF (ms²) | LF (ms²) | VLF (ms²) | HF n.u. | LF n.u. | LF/HF |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Durchgang | F=2,44; p<0,01 | F=1,22; p=0,25 | F=0,88; p=0,59 | F=14,85; p<0,001 | F=14,85; p<0,001 | F=9,33; p<0,001 |
| Versuchsabschnitt | F=20,77; p<0,001 | F=4,68; p<0,05 | F=4,23; p<0,05 | F=223,89; p<0,001 | F=223,89; p<0,001 | F=130,72; p<0,001 |
| Behandlung | F=1,21; p=0,30 | F=0,92; p=0,47 | F=0,83; p=0,53 | F=6,82; p<0,001 | F=6,82; p<0,001 | F=5,34; p<0,001 |
| Durchgang× Versuchsabschnitt | F=2,15; p<0,01 | F=1,55; p<0,1 | F=1,71; p<0,05 | F=7,13; p<0,001 | F=7,13; p<0,001 | F=7,26; p<0,001 |
| Durchgang× Behandlung | F=1,10; p=0,28 | F=1,02; p=0,42 | F=1,11; p=0,25 | F=5,11; p<0,001 | F=5,11; p<0,001 | F=4,43; p<0,001 |
| Behandlung× Versuchsabschnitt | F=1,45; p=0,20 | F=1,17; p=0,32 | F=1,49; p=0,19 | F=4,45; p<0,001 | F=4,45; p<0,001 | F=5,61; p<0,001 |

Tab. 22: Veränderung der Basalherzfrequenz (BHR) der Behandlungsgruppen am Anfang und am Ende des Versuches in LSM±SE. Tendenzielle und signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen und zwischen den Behandlungsgruppen (kursiv) mit den t- und p-Werten sind dargestellt. Nur sinnvolle Unterschiede wurden aufgezeigt. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung;

| Parameter | Behandlung | Versuchs-taggruppe | LSM±SE | t-Wert | p-Wert |
|------------|------------|--------------------|-------------|---|---|
| BHR | AF | Anfang | 144,65±1,41 | | |
| | AF | Ende | 142,69±1,27 | <i>Ende AF zum Ende AL mit t=7,60;</i> <i>Ende AF zum Ende RL mit t=5,60;</i> <i>Ende AF zum Ende FF mit t=4,76</i> | <i>p<0,001</i> <i>p<0,001</i> <i>p<0,001</i> |
| | AL | Anfang | 144,57±1,38 | Anfang AL zum Ende AL mit t=9,82 | p<0,001 |
| | AL | Ende | 128,96±1,29 | <i>Ende AL zum Ende AKF/L mit t=7,37;</i> <i>Ende AL zum Ende RF mit t=8,41</i> | <i>p<0,001</i> <i>p<0,001</i> |
| | AKF/L | Anfang | 145,97±1,43 | | |
| | AKF/L | Ende | 142,43±1,30 | <i>Ende AKF/L zum Ende RL mit t=5,39;</i> <i>Ende AKF/L zum Ende FF mit t=4,56</i> | <i>p<0,001</i> <i>p<0,001</i> |
| | RF | Anfang | 147,99±1,34 | Anfang RF zum Anfang FF mit t=3,36 | p<0,05 |
| | RF | Ende | 143,80±1,21 | <i>Ende RF zum Ende RL mit t=6,33</i> <i>Ende RF zum Ende FF mit t=5,53</i> | <i>p<0,001</i> <i>p<0,001</i> |
| | RL | Anfang | 144,91±1,35 | Anfang RL zum Ende RL mit t=7,99 | p<0,001 |
| | RL | Ende | 132,33±1,35 | | |
| | FF | Anfang | 141,29±1,47 | Anfang FF zum Ende FF mit t=4,24 | p<0,01 |
| | FF | Ende | 134,25±1,24 | | |

Tab. 23: Veränderung der basalen RMSSD und HF n.u. der Behandlungsgruppen am Anfang und am Ende des Versuches in LSM±SE. Tendenzielle und signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen und zwischen den Behandlungsgruppen (kursiv) mit den t- und p-Werten sind dargestellt. Nur sinnvolle Unterschiede wurden aufgezeigt. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung;

| Parameter | Behandlung | Versuchstaggruppe | LSM±SE | t-Wert | p-Wert | |
|-----------|------------|-------------------|----------------|--|---|--------------------|
| RMSSD | AF | Anfang | 26,99 ±1,11 | Anfang AF zum Ende AF mit t=9,93; <i>Anfang AF zum Anfang RF mit t=3,28;</i> <i>Anfang AF zum Anfang RL mit t=3,54</i> | p<0,001 p<0,05 p<0,05 | |
| | AF | Ende | 13,43±0,95 | <i>Ende AF zum Ende AL mit t=4,94</i> | p<0,001 | |
| | AL | Anfang | 25,07±1,08 | Anfang AL zum Ende AL mit t=3,53 | p<0,05 | |
| | AL | Ende | 20,12±0,96 | <i>Ende AL zum Ende AKF/L mit t=4,30;</i> <i>Ende AL zum Ende RF mit t=5,65;</i> <i>Ende AL zum Ende RL mit t=4,14;</i> <i>Ende AL zum Ende FF mit t=6,01</i> | p<0,01 p<0,001 p<0,01 p<0,001 | |
| | AKF/L | Anfang | 23,64±1,13 | Anfang AKF/L zum Ende AKF/L mit t=6,38 | p<0,001 | |
| | AKF/L | Ende | 14,18±0,99 | | | |
| | RF | Anfang | 22,04±1,05 | Anfang RF zum Ende RF mit t=6,99 | p<0,001 | |
| | RF | Ende | 12,69±0,89 | | | |
| | RL | Anfang | 21,65±1,04 | Anfang RL zum Ende RL mit t=5,36 | p<0,001 | |
| | RL | Ende | 14,28±1,03 | | | |
| | FF | Anfang | 22,09±1,18 | Anfang FF zum Ende FF mit t=6,81 | p<0,001 | |
| | FF | Ende | 12,11±0,92 | | | |
| | HF n.u. | AF | Anfang | 31,10±1,05 | Anfang AF zum Ende AF mit t=4,63 | p<0,001 |
| | | AF | Ende | 25,04±0,89 | <i>Ende AF zum Ende FF mit t=3,60</i> | p<0,05 |
| | | AL | Anfang | 32,96±1,03 | Anfang AL zum Ende AL mit t=4,40 | p<0,001 |
| | | AL | Ende | 27,01±0,91 | <i>Ende AL zum Ende RL mit t=4,37;</i> <i>Ende AL zum Ende FF mit t=5,15</i> | p<0,001 p<0,001 |
| AKF/L | | Anfang | 31,17±1,08 | Anfang AKF/L zum Ende AKF/L mit t=3,88; <i>Anfang AKF/L zum Anfang RF mit t=3,34</i> | p<0,01 p<0,05 | |
| AKF/L | | Ende | 25,09±0,94 | <i>Ende AKF/L zum Ende FF mit t=3,95</i> | p<0,01 | |
| RF | | Anfang | 36,04±0,99 | Anfang RF zum Ende RF mit t=7,75 | p<0,001 | |
| RF | | Ende | 26,10±0,84 | <i>Ende RF zum Ende RL mit t=3,81;</i> <i>Ende RF zum Ende FF mit t=4,62</i> | p<0,01 p<0,001 | |
| RL | | Anfang | 32,02±0,98 | Anfang RL zum Ende RL mit t=8,18 | p<0,001 | |
| RL | | Ende | 21,21±0,97 | | | |
| FF | | Anfang | 32,76±1,12 | Anfang FF zum Ende FF mit t=8,64 | p<0,001 | |
| FF | | Ende | 20,56±0,86 | | | |

Tab. 24: Veränderung der basalen SDNN und der LF n.u. der Behandlungsgruppen am Anfang und am Ende des Versuches in LSM±SE. Tendenzielle und signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen und zwischen den Behandlungsgruppen (kursiv) mit den t- und p-Werten sind dargestellt. Nur sinnvolle Unterschiede wurden aufgezeigt. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung;

| Parameter | Behandlung | Versuchs-taggruppe | LSM±SE | t-Wert | p-Wert | |
|-----------|------------|--------------------|------------|--|--|---------|
| SDNN | AF | Anfang | 39,03±0,96 | Anfang AF zum Ende AF mit t=9,26 <i>Anfang AF zum Anfang AKF/L mit t=3,52;</i> <i>Anfang AF zum Anfang RF mit t=4,67;</i> <i>Anfang AF zum Anfang RL mit t=4,25;</i> <i>Anfang AF zum Anfang FF mit t=4,18</i> | p<0,001 p<0,05 p<0,001 p<0,01 p<0,01 | |
| | AF | Ende | 28,03±0,82 | <i>Ende AF zum Ende AL mit t=6,54</i> | p<0,001 | |
| | AL | Anfang | 37,55±0,94 | <i>Anfang AL zum Anfang RF mit t=3,55</i> | p<0,05 | |
| | AL | Ende | 35,67±0,83 | <i>Ende AL zum Ende AKF/L mit t=6,70;</i> <i>Ende AL zum Ende RF mit t=8,16;</i> <i>Ende AL zum Ende RL mit t=4,85;</i> <i>Ende AL zum Ende FF mit t=7,41</i> | p<0,001 p<0,001 p<0,001 p<0,001 | |
| | AKF/L | Anfang | 34,21±0,98 | <i>Anfang AKF/L zum Ende AKF/L mit t=5,02</i> | p<0,001 | |
| | AKF/L | Ende | 27,68±0,86 | | | |
| | RF | Anfang | 32,94±0,90 | <i>Anfang RF zum Ende RF mit t=5,59</i> | p<0,001 | |
| | RF | Ende | 26,42±0,77 | | | |
| | RL | Anfang | 33,49±0,90 | | | |
| | RL | Ende | 29,77±0,89 | | | |
| | FF | Anfang | 33,20±1,02 | <i>Anfang FF zum Ende FF mit t=4,73</i> | p<0,001 | |
| | FF | Ende | 27,15±0,79 | | | |
| | LF n.u. | AF | Anfang | 68,90±1,05 | <i>Anfang AF zum Ende AF mit t=4,63</i> | p<0,001 |
| | | AF | Ende | 74,96±0,89 | <i>Ende AF zum Ende FF mit t=3,59</i> | p<0,05 |
| AL | | Anfang | 67,04±1,03 | <i>Anfang AL zum Ende AL mit t=4,40</i> | p<0,001 | |
| AL | | Ende | 72,99±0,91 | <i>Ende AL zum Ende RL mit t=4,36</i> <i>Ende AL zum Ende FF mit t=5,15</i> | p<0,001 p<0,001 | |
| AKF/L | | Anfang | 68,83±1,08 | <i>Anfang AKF/L zum Ende AKF/L mit t=3,87</i> | p<0,01 | |
| AKF/L | | Ende | 74,41±0,94 | <i>Ende AKF/L zum Ende FF mit t=3,94</i> | p<0,01 | |
| RF | | Anfang | 63,96±0,99 | <i>Anfang RF zum Ende RF mit t=7,74</i> | p<0,001 | |
| RF | | Ende | 73,90±0,84 | <i>Ende RF zum Ende RL mit t=3,81;</i> <i>Ende RF zum Ende FF mit t=4,61</i> | p<0,01 p<0,001 | |
| RL | | Anfang | 67,98±0,98 | <i>Anfang RL zum Ende RL mit t=8,18</i> | p<0,001 | |
| RL | | Ende | 78,79±0,97 | | | |
| FF | | Anfang | 67,24±1,12 | <i>Anfang FF zum Ende FF mit t=8,64</i> | p<0,001 | |
| FF | | Ende | 79,44±0,86 | | | |

Tab. 25: Veränderung der basalen RMSSD/SDNN- und der LF/HF-Verhältnisse der Behandlungsgruppen am Anfang und am Ende des Versuches in LSM±SE. Tendenzielle und signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungsgruppen und zwischen den Behandlungsgruppen (kursiv) mit den t- und p-Werten sind dargestellt. Nur sinnvolle Unterschiede wurden aufgezeigt. Behandlungsgruppen: AF: angekündigte Fütterung, AL: angekündigter Luftstoß, AKF/L: angekündigte Konfliktsituation Fütterung/Luftstoß, RF: randomisierte Fütterung, RL: randomisierter Luftstoß, FF: feste Fütterung;

| Parameter | Behandlung | Versuchs-taggruppe | LSM±SE | t-Wert | p-Wert | |
|----------------|------------|--------------------|-----------|--|--|--|
| RMSSD/ SDNN | AF | Anfang | 0,66±0,01 | Anfang AF zum Ende AF mit t=12,43 | p<0,001 | |
| | AF | Ende | 0,47±0,01 | <i>Ende AF zum Ende AL mit t=4,53</i> | <i>p<0,001</i> | |
| | AL | Anfang | 0,65±0,01 | Anfang AL zum Ende AL mit t=7,07 | p<0,001 | |
| | AL | Ende | 0,54±0,01 | <i>Ende AL zum Ende AKF/L mit t=3,29;</i> <i>Ende AL zum Ende RF mit t=4,90;</i> <i>Ende AL zum Ende RL mit t=4,32;</i> <i>Ende AL zum Ende FF mit t=7,28</i> | <i>p<0,05</i> <i>p<0,001</i> <i>p<0,01</i> <i>p<0,001</i> | |
| | AKF/L | Anfang | 0,64±0,01 | Anfang AKF/L zum Ende AKF/L mit t=9,25 | p<0,001 | |
| | AKF/L | Ende | 0,49±0,01 | <i>Ende AKF/L zum Ende FF mit t=3,81</i> | <i>p<0,01</i> | |
| | RF | Anfang | 0,66±0,01 | Anfang RF zum Ende RF mit t=12,91 | p<0,001 | |
| | RF | Ende | 0,47±0,01 | | | |
| | RL | Anfang | 0,63±0,01 | Anfang RL zum Ende RL mit t=10,13 | p<0,001 | |
| | RL | Ende | 0,47±0,01 | | | |
| | FF | Anfang | 0,65±0,01 | Anfang FF zum Ende FF mit t=13,32 | p<0,001 | |
| | FF | Ende | 0,44±0,01 | | | |
| | LF/HF | AF | Anfang | 3,85±0,39 | | |
| | | AF | Ende | 5,16±0,33 | <i>Ende AF zum Ende RF mit t=4,25</i> <i>Ende AF zum Ende FF mit t=5,16</i> | <i>p<0,01</i> <i>p<0,001</i> |
| | | AL | Anfang | 4,04±0,39 | | |
| | | AL | Ende | 4,95±0,34 | <i>Ende AL zum Ende RL mit t=4,65</i> <i>Ende AL zum Ende FF mit t=5,59</i> | <i>p<0,001</i> <i>p<0,001</i> |
| AKF/L | | Anfang | 3,86±0,40 | Anfang AKF/L zum Ende AKF/L mit t=4,46 | p<0,001 | |
| AKF/L | | Ende | 6,25±0,35 | | | |
| RF | | Anfang | 3,00±0,37 | Anfang RF zum Ende RF mit t=4,71 | p<0,001 | |
| RF | | Ende | 5,26±0,31 | <i>Ende RF zum Ende RL mit t=4,17</i> <i>Ende RF zum Ende FF mit t=5,14</i> | <i>p<0,01</i> <i>p<0,001</i> | |
| RL | | Anfang | 3,49±0,37 | Anfang RL zum Ende RL mit t=7,65 | p<0,001 | |
| RL | | Ende | 7,26±0,36 | | | |
| FF | | Anfang | 3,81±0,42 | Anfang FF zum Ende FF mit t=7,13 | p<0,001 | |
| FF | | Ende | 7,57±0,32 | | | |

Tab. 26: Veränderung der Herzfrequenz und HRV in zeitlicher Annäherung an die Fütterung der Behandlungsgruppe **FF** in $LSM \pm SE$. Es sind tendenzielle und signifikante Unterschiede zwischen den Zeitabschnitten mit den entsprechenden t- und p-Werten dargestellt. FF: feste Fütterung; Zeitabschnitte sind in Minuten bis hin zum Fütterungszeitpunkt=0 angegeben. Zeitabschnitte: a) 120–90; b) 75–45; c) 30–0; d) 0–5

| Parameter | Zeitabschnitt in min | LSM \pm SE | t-Wert | p-Wert |
|-------------------|----------------------|-------------------|---|------------------------------|
| HR | a) 120–90 | 130,72 \pm 1,16 | a) zu b) mit t=3,67 a) zu c) mit t=5,63 a) zu d) mit t=9,44 | p<0,01 p<0,001 p<0,001 |
| | b) 75–45 | 124,96 \pm 1,19 | b) zu c) mit t=2,36 b) zu d) mit t=11,38 | p<0,1 p<0,001 |
| | c) 30–0 | 120,78 \pm 1,37 | c) zu d) mit t=13,31 | p<0,001 |
| | d) 0–5 | 152,57 \pm 1,98 | | |
| RMSSD | a) 120–90 | 10,88 \pm 0,61 | a) zu b) mit t=3,15 a) zu c) mit t=4,85 a) zu d) mit t=2,49 | p<0,05 p<0,001 p<0,1 |
| | b) 75–45 | 13,49 \pm 0,62 | | |
| | c) 30–0 | 15,41 \pm 0,72 | | |
| | d) 0–5 | 13,92 \pm 1,05 | | |
| SDNN | a) 120–90 | 25,32 \pm 1,17 | a) zu d) mit t=4,00 | p<0,001 |
| | b) 75–45 | 26,74 \pm 1,20 | b) zu d) mit t=3,36 | p<0,01 |
| | c) 30–0 | 28,35 \pm 1,40 | c) zu d) mit t=2,62 | p<0,05 |
| | d) 0–5 | 34,68 \pm 2,00 | | |
| RMSSD/SDNN | a) 120–90 | 0,43 \pm 0,02 | a) zu d) mit t=4,24 | p<0,001 |
| | b) 75–45 | 0,49 \pm 0,02 | | |
| | c) 30–0 | 0,55 \pm 0,02 | | |
| | d) 0–5 | 0,50 \pm 0,03 | | |

Tab. 27: Übersicht über die signifikanten Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Dauer der Verhaltensweisen.

| Faktoren und Interaktionen | Liegen | Aufsetzen | Stehen | Aktivität | Fluchtversuch | Zucken | Ausweichen | Fressen |
|---|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Durchgang | F=2,09; p<0,05 | F=1,79; p<0,1 | F=2,88; p<0,01 | F=4,66; p<0,001 | F=1,30; p=0,23 | F=1,30; p=0,23 | F=1,98; p<0,05 | F=0,94; p=0,52 |
| Versuchstag | F=28,97; p<0,001 | F=23,17; p<0,001 | F=13,72; p<0,001 | F=8,23; p<0,001 | F=65,93; p<0,001 | F=33,19; p<0,001 | F=14,76; p<0,001 | F=4,55; p<0,001 |
| Behandlung | F=43,60; p<0,001 | F=1,59; p=0,17 | F=2,47; p<0,05 | F=13,98; p<0,001 | F=9,59; p<0,001 | F=41,80; p<0,001 | F=61,28; p<0,001 | F=142,12; p<0,001 |
| Messminute | F=1425,0; p<0,001 | F=14,84; p<0,001 | F=36,64; p<0,001 | F=52,20; p<0,001 | F=78,73; p<0,001 | F=356,67; p<0,001 | F=531,07; p<0,001 | F=1400,3; p<0,001 |
| Versuchstag× Behandlung | F=2,64; p<0,001 | F=1,95; p<0,01 | F=2,50; p<0,001 | F=0,94; p=0,54 | F=17,86; p<0,001 | F=10,31; p<0,001 | F=4,88; p<0,001 | F=1,37; p=0,11 |
| Versuchstag× Messminute | F=11,31; p<0,001 | F=8,69; p<0,001 | F=8,23; p<0,001 | F=1,41; p=0,22 | F=63,59; p<0,001 | F=32,98; p<0,001 | F=14,77; p<0,001 | F=4,53; p<0,001 |
| Behandlung× Messminute | F=86,55; p<0,001 | F=4,10; p<0,01 | F=10,16; p<0,001 | F=18,20; p<0,001 | F=24,32; p<0,001 | F=109,81; p<0,001 | F=110,03; p<0,001 | F=202,46; p<0,001 |
| Ver-suchstag× Behandlung× Mess-minute | F=3,48; p<0,001 | F=1,34; p=0,12 | F=2,22; p<0,001 | F=1,62; p<0,05 | F=18,01; p<0,001 | F=10,27; p<0,001 | F=4,88; p<0,001 | F=1,37; p=0,10 |

Tab. 28: Übersicht über die signifikanten Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Häufigkeit der Verhaltensweisen.

| Faktoren und Interaktionen | Liegen | Aufsetzen | Stehen | Aktivität | Fluchtversuch | Zucken | Ausweichen | Fressen |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Durchgang | F=1,38; p=0,18 | F=1,77; p<0,1 | F=6,49; p<0,001 | F=2,30; p<0,05 | F=1,31; p=0,22 | F=1,34; p=0,21 | F=1,91; p<0,05 | F=0,65; p=0,80 |
| Versuchstag | F=12,79; p<0,001 | F=18,88; p<0,001 | F=18,10; p<0,001 | F=18,77; p<0,001 | F=87,05; p<0,001 | F=52,17; p<0,001 | F=14,63; p<0,001 | F=1,48; p=0,19 |
| Behandlung | F=68,63; p<0,001 | F=4,64; p<0,01 | F=5,87; p<0,001 | F=32,41; p<0,001 | F=11,99; p<0,001 | F=47,64; p<0,001 | F=106,53; p<0,001 | F=272,99; p<0,001 |
| Messminute | F=44,10; p<0,001 | F=374,60; p<0,001 | F=181,74; p<0,001 | F=898,90; p<0,001 | F=105,14; p<0,001 | F=505,34; p<0,001 | F=674,34; p<0,001 | F=1462,65; p<0,001 |
| Versuchstag × Behandlung | F=3,26; p<0,001 | F=1,56; p<0,05 | F=2,31; p<0,001 | F=1,42; p<0,1 | F=16,37; p<0,001 | F=15,33; p<0,001 | F=5,60; p<0,001 | F=0,74; p=0,82 |
| Versuchstag × Messminute | F=5,80; p<0,001 | F=9,37; p<0,001 | F=13,90; p<0,001 | F=9,17; p<0,001 | F=81,14; p<0,001 | F=52,35; p<0,001 | F=14,66; p<0,001 | F=1,47; p=0,20 |
| Behandlung × Messminute | F=143,41; p<0,001 | F=13,67; p<0,001 | F=19,75; p<0,001 | F=67,99; p<0,001 | F=23,57; p<0,001 | F=149,46; p<0,001 | F=132,27; p<0,001 | F=211,73; p<0,001 |
| Versuchstag × Behandlung × Messminute | F=3,40; p<0,001 | F=1,75; p<0,05 | F=2,40; p<0,001 | F=2,44; p<0,001 | F=15,97; p<0,001 | F=15,36; p<0,001 | F=5,60; p<0,001 | F=0,73; p=0,83 |

Tab. 29: Dauer in Sekunden (LSM±SE) der beobachteten Verhaltensweisen in der Behandlungsgruppe RF aufgeschlüsselt nach der Minute vor dem Ereignis und Minute nach erfolgter Futtergabe. ^{a, b} Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede mit p<0,05.

| Verhaltensweisen [s] | Min-vor-E | Min-nach-E-FG |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Liegen | 51,72± 1,67 ^a | 10,41± 1,67 ^b |
| Fressen | 0,02± 1,00 ^a | 43,10± 1,00 ^b |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----------------------|---|-----|
| Tab. 1: | Übersicht der HR und HRV-Parameter | 21 |
| Tab. 2: | Übersicht des Versuchsablaufs aufgeschlüsselt nach Tagen und Prozeduren. | 25 |
| Tab. 3: | Ethogramm: Übersicht über die beobachteten Verhaltensweisen und eine kurze Beschreibung derselben. | 30 |
| Tab. 4: | Übersicht über die Abkürzungen der Messminuten. | 32 |
| Tab. 5: | Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität der Zeitbereichsanalyse. | 35 |
| Tab. 6: | Übersicht über die signifikanten Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität bei der Zeitbereichsanalyse. | 44 |
| Tab. 7: | Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktion auf die Parameter der Zeitbereichsanalyse. | 52 |
| Tab. 8: | Darstellung der signifikant ($p < 0,001$) korrelierenden Parameter von allen 95 Tieren. | 53 |
| Tab. 9: | Dauer (LSM \pm SE) der beobachteten Verhaltensweisen in den verschiedenen Behandlungsgruppen an allen oben genannten Versuchstagen zusammengefasst. | 54 |
| Tab. 10: | Dauer (LSM \pm SE) der beobachteten Verhaltensweisen während der drei Messminuten der konditionierten Behandlungsgruppen AF und AL. | 57 |
| Tab. 11: | Dauer (LSM \pm SE) der beobachteten Verhaltensweisen in der Behandlungsgruppe AKF/L aufgeschlüsselt nach den Messminuten und zusätzlich nach erfolgter Futtergabe (AKF) und erfolgter Luftstoßgabe (AKL). | 58 |
| Tab. 12: | Übersicht über Parameter, die in der Literatur positiv oder negativ interpretiert wurden. | 63 |
| Tab. 13: | Übersicht über das Fütterungsmanagement der einzelnen Behandlungsgruppen. | 74 |
| <u>Anhang:</u> | | |
| Tab. 14: | Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität der Frequenzbereichsanalyse. | 100 |
| Tab. 15: | Veränderung der Herzfrequenz (HR) aufgrund der unterschiedlichen Behandlungen während der Messminuten in LSM \pm SE. | 101 |

| | | |
|----------|---|-----|
| Tab. 16: | Veränderung der Herzfrequenzvariabilität (RMSSD) aufgrund der unterschiedlichen Behandlungen während der Messminuten in LSM±SE. | 102 |
| Tab. 17: | Veränderung der Herzfrequenzvariabilität (SDNN) aufgrund der unterschiedlichen Behandlungen während der Messminuten in LSM±SE. | 103 |
| Tab. 18: | Veränderung der Herzfrequenzvariabilität (RMSSD/SDNN) aufgrund der unterschiedlichen Behandlungen während der Messminuten in LSM±SE. | 104 |
| Tab. 19: | Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität bei der Zeitbereichsanalyse während des Tonsignals. | 105 |
| Tab. 20: | Darstellung der Parameteränderung während der Tonminute der jeweiligen Behandlungsgruppe in LSM±SE. | 105 |
| Tab. 21: | Übersicht über die Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität bei der Frequenzbereichsanalyse der Basalmessungen. | 106 |
| Tab. 22: | Veränderung der Basalherzfrequenz (BHR) der Behandlungsgruppen am Anfang und am Ende des Versuches in LSM±SE. | 107 |
| Tab. 23: | Veränderung der basalen RMSSD und HF n.u. der Behandlungsgruppen am Anfang und am Ende des Versuches in LSM±SE. | 108 |
| Tab. 24: | Veränderung der basalen SDNN und der LF n.u. der Behandlungsgruppen am Anfang und am Ende des Versuches in LSM±SE. | 109 |
| Tab. 25: | Veränderung der basalen RMSSD/SDNN- und der LF/HF-Verhältnisse der Behandlungsgruppen am Anfang und am Ende des Versuches in LSM±SE. | 110 |
| Tab. 26: | Veränderung der Herzfrequenz und HRV in zeitlicher Annäherung an die Fütterung der Behandlungsgruppe FF in LSM±SE. | 111 |
| Tab. 27: | Übersicht über die signifikanten Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Dauer der Verhaltensweisen. | 112 |
| Tab. 28: | Übersicht über die signifikanten Einflüsse der Faktoren und deren Interaktionen auf die Häufigkeit der Verhaltensweisen. | 113 |
| Tab. 29: | Dauer in Sekunden (LSM±SE) der beobachteten Verhaltensweisen in der Behandlungsgruppe RF aufgeschlüsselt nach der Minute vor dem Ereignis und Minute nach erfolgter Futtergabe. | 113 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----|
| Abb. 1: | Zweidimensionales Grundgerüst von affektiv-emotionalen Zuständen (modifiziert nach (Mendl et al., 2010a)). | 11 |
| Abb. 2: | Darstellung der verschiedenen untersuchten Parameter im Rahmen dieser Arbeit. | 15 |
| Abb. 3: | Darstellung eines Herzschlages im Elektrokardiogramm. | 16 |
| Abb. 4: | Darstellung des Säugetierherzes mit Erregungsleitungssystem und des Herzschlages im Elektrokardiogramm mit Kennzeichnung der typischen Unregelmäßigkeit aufeinanderfolgender RR-Intervalle in ms (Herzfrequenzvariabilität). | 16 |
| Abb. 5: | Formelgleichungen zu den Parametern HR, RMSSD und SDNN. $RR = RR$ Intervalle; \overline{RR} = Mittelwert der RR-Intervalle. | 20 |
| Abb. 6: | Skizze des Versuchsraumes im Tiertechnikum des FBN Dummerstorf. | 24 |
| Abb. 7: | In der Bewegung durch die linke und hintere mobilen Wände eingeschränktes Tier mit Herzfrequenzgurt. | 24 |
| Abb. 8: | Versuchsablauf pro Durchgang eingeteilt in Phasen. | 25 |
| Abb. 9: | Klassische Konditionierung der Behandlungen AF, AL und AKF/L. | 26 |
| Abb. 10: | Tonunabhängige Reizungen der Behandlungen RF, RL und FF. | 26 |
| Abb. 11: | Veränderung der Herzfrequenz (HR) der jeweiligen Behandlungsgruppe über die Messminuten. | 36 |
| Abb. 12: | Veränderung der RMSSD der jeweiligen Behandlungsgruppe über die Messminuten. | 37 |
| Abb. 13: | Veränderung der SDNN der jeweiligen Behandlungsgruppe über die Messminuten. | 38 |
| Abb. 14: | Veränderung des Verhältnisses RMSSD/SDNN der jeweiligen Behandlungsgruppe über die Messminuten. | 39 |
| Abb. 15: | Herzfrequenzänderung während der Tonminute der jeweiligen Behandlungsgruppe. | 41 |
| Abb. 16: | Änderung der HRV-Parameter während der Tonminute der jeweiligen Behandlungsgruppe. | 42 |
| Abb. 17: | RMSSD/SDNN-Änderung während der Tonminute der jeweiligen Behandlungsgruppe. | 43 |
| Abb. 18: | Basalherzfrequenz (BHR) der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. | 45 |
| Abb. 19: | Basalherzfrequenzvariabilitätsparameter RMSSD der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. | 46 |

| | | |
|----------|--|----|
| Abb. 20: | Frequenzbereichsanalysenparameter HF n.u. am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. | 47 |
| Abb. 21: | Basalherzfrequenzvariabilitätsparameter SDNN der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. | 48 |
| Abb. 22: | Frequenzbereichsanalysenparameter LF n.u. der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. | 49 |
| Abb. 23: | Basalherzfrequenzvariabilitätsparameter RMSSD/SDNN der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. | 50 |
| Abb. 24: | Frequenzbereichsanalysenparameter LF/HF der Behandlungsgruppen am Anfang (weiß) und am Ende (schwarz) des Versuches. | 51 |
| Abb. 25: | Herzfrequenz und HRV in zeitlicher Annäherung an die Fütterung. | 52 |
| Abb. 26: | Verhaltensdauer von Aufsetzen, Stehen und Aktivität der konditionierten Behandlungsgruppen (AF, AL, AKF/L) und der Kontrollgruppe (FF) während des Tonsignals. | 56 |
| Abb. 27: | Verhaltensdauer von Fluchtversuch, Ausweichen und Zucken der Gruppen mit Luftstoßbehandlung (AL, AKF/L, RL) über die Versuchstage. | 59 |
| Abb. 28: | Verhaltensdauer von „Aktiv“ (schwarz), „Sitzen“ (grau) und „Liegen“ (weiß) der FF-Gruppe über die drei Zeitabschnitte bis zum Fütterungszeitpunkt (0=Fütterungszeitpunkt). | 60 |

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen, mich bei den vielen Menschen zu bedanken, die mir während meiner Promotion eine große Hilfe waren.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Hauptbetreuer –Prof. Dr. Gerhard Manteuffel– bedanken, da er mir die Möglichkeit gab, dieses interessante Thema zu bearbeiten. Er war für mich da und hatte immer Zeit für anregende Diskussionen. Ich danke allen Mitarbeitern des Institutes 5.0 Verhaltensphysiologie des FBNs für die herzliche Aufnahme am Institut und das angenehme Arbeitsklima.

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. Ulrike Gimsa, die mir während der gesamten Promotionszeit immer zur Seite stand. Besonders Martina Pohlmann danke ich für den großen Anteil am reibungslosen Verlauf der Versuche und am Gelingen der Auswertungen. Ebenso möchte ich herzlich meiner Mitdotorandin Jana Brietzke, die mit mir an diesem Projekt arbeitete danken. Ein großer Dank geht auch an meine frühere Diplomarbeitbetreuerin Dr. Sandra Döpjan, die immer für mich da ist.

Mein Dank für finanzielle Unterstützung geht vor allem an die Deutsche Forschungsgemeinschaft (MA 943/13-1) sowie an das Leibniz-Institut für Nutztierbiologie.

Ein besonderer Dank geht an Dr. Peter Schön und die technischen Mitarbeiter des Forschungsbereiches Verhaltensphysiologie für ihre tatkräftige Unterstützung bei den Arbeiten rund um die tierexperimentellen Versuche und den laboranalytischen Auswertungen. Ich bedanke mich bei Kurt Wendland, Heinz Deike, Ursula Engel, Martina Pohlmann, Silvia Langhoff, Dagmar Mähling, Petra Müntzel, Evelin Normann, Birgit Sobczak und Regina Wal. Gleichzeitig möchte ich auch allen Mitarbeitern der Experimentalanlage Schwein für die Bereitstellung und den Transport der Versuchstiere danken. Ebenso möchte ich mich bei allen Mitarbeitern des Tiertechnikums sehr herzlich bedanken, ohne deren Unterstützung meine Versuche nicht so komplikationslos abgelaufen wären.

An Dr. Armin Tuchscherer geht ein großes Dankeschön für die große Bereitschaft zur Beantwortung statistischer Fragestellungen. Mit Dr. Jan Langbein hatte ich des Öfteren anregende Diskussionen rund um die Interpretation der Herzreaktionsergebnisse – einen herzlichen Dank dafür! Ein offenes Ohr konnte ich auch immer bei Prof. Dr. Birger Puppe finden. Für Hilfe bei allen bürokratischen Dingen und Hilfe jeglicher Art möchte ich Jutta Hoffmann Dank sagen.

Natürlich möchte ich mich auch bei meinen derzeitigen und früheren Mitdotorandinnen bedanken, die genau wissen, welche Hochs und Tiefs einen während der Promotion überkommen. Für gemeinsame Diskussionen rund um die Arbeit, aber auch für ablenkungsreiche Freizeitunternehmungen danke ich Dr. Manuela Zebunke, Jenny Stracke, Jaqueline Knaust, Dr. Susann Meyer, Dr. Theresa Hameister, Volker Röttgen und Dr. Christian Manteuffel. Für die seelische Unterstützung danke ich besonders Annika Krause und Jana Brietzke.

Nicht zu vergessen, danke ich meinen vielen Versuchstieren, die wohl den größten Anteil zu dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein herzlicher Dank geht insbesondere an meinen Mann, meinem Kind, meiner Schwester und meinen Eltern, die mit viel Geduld und Liebe meine wechselnden Stimmungen in dieser Zeit ertragen haben, mir den größten Rückhalt gaben und allzeit hinter mir standen.

Veröffentlichungen, Vorträge, Poster

Veröffentlichungen: Jaskulke, S., Manteuffel, G., 2011. No apparent effect of an experimental narrow confinement on heart activity and cortisol in domestic pigs. *Animal* 5, 433-438.

Mahnhardt, S.; Brietzke, J.; Tuchscherer, A.; Schön, P. C.; Gimsa, U.; Manteuffel, G., 2013. Erfassung der Herzaktivität und des Verhaltens beim Hausschwein in einem emotionalen Antizipationsparadigma. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung (KTBL-Schrift ; 503) KTBL, Darmstadt (978-3-41583-87-0): 106-115.

Mahnhardt, S.; Brietzke, J.; Kanitz, E.; Schön, P. C.; Tuchscherer, A.; Gimsa, U.; Manteuffel, G., 2014. Anticipation and frequency of feeding affect heart reactions in domestic pigs. *J Anim Sci* 92 (11): 4878-4887.

Zweitautor: Brietzke, J., Jaskulke, S., Klöckner, P., Kanitz, E., Tuchscherer, M., Otten, W., Schön, P.C., Tuchscherer, A., Manteuffel, G., Gimsa, U., 2013. Does repeated anticipation induce neuroendocrine modulation of the immune system in domestic pigs? *Brain, Behavior, and Immunity* 29, Supplement, S14. (abstract)

Vorträge: Mahnhardt, S.; Brietzke, J.; Tuchscherer, A.; Schön, P. Ch.; Gimsa, U.; Manteuffel, G., 2013. Erfassung der Herzaktivität und des Verhaltens beim Hausschwein in einem emotionalen Antizipationsparadigma. 45. Internationale Tagung für Angewandte Ethologie der DVG

Mahnhardt, S.: Erfassung der affektiven Herzaktivität und des Verhaltens beim Hausschwein (*Sus scrofa domestica*) in einem emotionalen Antizipationsparadigma. Tag des Doktoranden (Gruppe Fortgeschrittene), Leibniz-Institut für Nutztierbiologie, Dummerstorf, 13. Mai 2014

Poster: Jaskulke, S., Langbein, L., Kanitz, E., Manteuffel, G., 2011: Adaptation to confinement in young pigs. Joint East and West Central Europe ISAE Regional Meeting, Kostelec nad Cernymi Lesy, Czech Republic, 1-4 Juni 2011.

Selbständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel „Erfassung der affektiven Herzaktivität und des Verhaltens beim Hausschwein (*Sus scrofa domestica*) in einem emotional wirksamen Antizipationsparadigma“ selbständig angefertigt und ohne fremde Hilfe verfasst habe, keine außer den von mir angegebenen Hilfsmitteln und Quellen dazu verwendet habe und die den benutzten Werken inhaltlich und wörtlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Greifswald, 01.07.2015