

Affektive und emotionale Reaktionen von
Schweinen im Kontext von kognitiver
Umweltanreicherung

Ein Beitrag zur Verbesserung des Wohlbefindens
landwirtschaftlicher Nutztiere

Dissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Rostock

vorgelegt von

Dipl. Biol. Manuela Zebunke, geb. am 14.02.1981 in Erfurt
aus Rostock

Rostock, 05.06.2009

urn:nbn:de:gbv:28-diss2009-0182-7

Gutachter:

Prof. (apl.) Dr. Gerhard Manteuffel
Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere
Forschungsbereich Verhaltensphysiologie

Prof. Dr. Guido Dehnhardt
Universität Rostock
Institut für Biowissenschaften
Lehrstuhl für sensorische und kognitive Ökologie

Termin der Abgabe: 05.06.2009

Termin der Verteidigung: 12.10.2009

„Nichts geht im Leben der Sterblichen
auch nur ein Stück weit
ohne Unheil.“

Sophokles „Antigone“

Diese Arbeit wurde gefördert durch die:

H. WILHELM SCHAUMANN STIFTUNG
&
FAZIT-STIFTUNG

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----|
| <i>Inhaltsverzeichnis</i> | i |
| <i>Abkürzungen und Symbole</i> | iii |
| 1. <i>Einleitung</i> | 1 |
| 1.1 <i>Wohlbefinden</i> | 2 |
| 1.1.1 <i>Stress, coping</i> und das Prinzip der Allostase | 3 |
| 1.1.2 <i>Emotion, Kognition, Motivation</i> und Bewertung | 4 |
| 1.2 <i>Umweltanreicherung</i> | 5 |
| 1.3 <i>Nachweismethoden für die Auswirkungen von Umweltanreicherung</i> | 7 |
| 1.3.1 <i>Allgemein</i> | 7 |
| 1.3.2 <i>Herzschlagvariabilität</i> | 8 |
| 1.4 <i>Fragen und Zielstellung der Arbeit</i> | 9 |
| 2. <i>Material und Methoden</i> | 11 |
| 2.1 <i>Versuchstiere und Haltung</i> | 11 |
| 2.2 <i>Versuchsaufbau</i> | 12 |
| 2.2.1 <i>Ton-Schalter-Futterautomat</i> | 12 |
| 2.2.2 <i>Versuchsablauf</i> | 13 |
| 2.3 <i>Versuchsparameter und Datenauswertung</i> | 15 |
| 2.3.1 <i>Bewältigung der Lernaufgaben</i> | 15 |
| 2.3.2 <i>Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität</i> | 15 |
| 2.3.3 <i>Verhaltenstest</i> | 23 |
| 2.4 <i>Statistik</i> | 26 |
| 2.4.1 <i>Begriffsdefinitionen</i> | 26 |
| 2.4.2 <i>Statistische Auswertung</i> | 27 |
| 3. <i>Ergebnisse</i> | 31 |
| 3.1 <i>Bewältigung der Lernaufgaben</i> | 31 |
| 3.1.1 <i>Phase 1 - Klassische Konditionierung</i> | 31 |
| 3.1.2 <i>Phase 2 und 3 - Operante Konditionierung</i> | 31 |
| 3.2 <i>Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität</i> | 33 |
| 3.2.1 <i>Kurzfristige Veränderungen — Die Fütterungssituation</i> | 33 |
| 3.2.2 <i>Längerfristige Veränderungen — Die Basalwerte</i> | 48 |
| 3.3 <i>Verhaltenstest</i> | 55 |
| 3.3.1 <i>Verhalten</i> | 55 |
| 3.3.2 <i>Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität</i> | 57 |
| 4. <i>Diskussion</i> | 61 |
| 4.1 <i>Bewältigung der Lernaufgaben</i> | 61 |
| 4.1.1 <i>Phase 1 - Klassische Konditionierung</i> | 61 |
| 4.1.2 <i>Phase 2 und 3 - Operante Konditionierung</i> | 62 |
| 4.2 <i>Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität</i> | 62 |
| 4.2.1 <i>Kurzfristige Veränderungen</i> | 62 |
| 4.2.2 <i>Längerfristige Veränderungen</i> | 71 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.3 | Verhaltenstest | 74 |
| 4.3.1 | Veränderungen des Verhaltens durch Habituation | 75 |
| 4.3.2 | Veränderungen der Physiologie durch Habituation | 76 |
| 4.3.3 | Physiologische Reaktion auf das <i>novel object</i> | 76 |
| 4.3.4 | Einfluss der Behandlungsgruppe auf das Verhalten | 77 |
| 4.3.5 | Einfluss der Behandlungsgruppe auf die Physiologie | 78 |
| 4.4 | Methoden | 79 |
| 4.4.1 | Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität | 79 |
| 4.4.2 | Verhaltenstest | 81 |
| 4.5 | Zusammenfassende Diskussion und Schlussfolgerung | 81 |
| 5. | <i>Zusammenfassung</i> | 85 |
| 6. | <i>Summary</i> | 87 |
| | <i>Literaturverzeichnis</i> | 89 |
| | | |
| | <i>Anhang</i> | 101 |
| A. | <i>Verhaltenstest — Verhalten</i> | 103 |
| B. | <i>Verhaltenstest — Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität</i> | 109 |
| | <i>Tabellenverzeichnis</i> | 113 |
| | <i>Abbildungsverzeichnis</i> | 115 |
| | <i>Danksagung</i> | 117 |
| | <i>Erklärung</i> | 119 |

ABKÜRZUNGEN UND SYMBOLE

| | |
|-------------------|--|
| \pm | plus-minus |
| $<, \leq$ | kleiner als, kleiner gleich |
| $\times, *$ | mal |
| α | alpha |
| Δ | (delta) Differenz |
| $\&$ | und |
| $\%$ | Prozent |
| Σ | Summe |
| $\sqrt{\quad}$ | Wurzel |
| \overline{RR} | Mittelwert über alle RR-Intervalle |
| \dagger | Tendenz ($P < 0.10$) |
| $*$ | Signifikanz ($P < 0.05$) |
| $**$ | Signifikanz ($P < 0.01$) |
| $***$ | Signifikanz ($P < 0.001$) |
| \uparrow | signifikanter Anstieg |
| \downarrow | signifikanter Abfall |
| \nearrow | tendenzieller Anstieg |
| \rightarrow | keine signifikanten Veränderungen |
| \textcircled{R} | registriert |
| \textcircled{C} | copyright |
| A | Anfang |
| Abb. | Abbildung |
| Abs | Absolutwert |
| ACTH | adrenocorticotropes Hormon |
| ANOVA | analysis of variance |
| BGBL | Bundesgesetzblatt |
| BLE | Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung |

| | |
|----------|---|
| BMELV | Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz |
| BSE | Bovine spongiforme Enzephalopathie |
| bzw. | beziehungsweise |
| ca. | circa |
| cm | Zentimeter |
| d. h. | das heißt |
| dB | Dezibel |
| det | determinism |
| Diff | Differenzwert |
| E | Ende |
| EEG | Elektroenzephalogramm |
| et al. | (et altera) und andere |
| etc. | (et cetera) und so weiter |
| EU | Europäische Union |
| EWG | Europäische Wirtschaftsgemeinschaft |
| F | F-Wert |
| FBN | Forschungsinstitut für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere |
| fMRI | functional magnetic resonance imaging |
| FR | fixed ratio |
| g | Gramm |
| h | (hora) Stunde |
| HF | high frequency |
| HR | heart rate |
| Hz | Hertz |
| i | Variable |
| i. d. R. | in der Regel |
| Inc. | Incorporated |
| kg | Kilogramm |
| LF | low frequency |
| LSM | least square mean |
| LW | Lebenswoche |
| m | Meter |

| | |
|--------------|--|
| MaxL | maximum line |
| mbH | mit beschränkter Haftung |
| ms | Millisekunden |
| n | Anzahl |
| NC | North Carolina |
| NN | normal-to-normal |
| P | (probability) Wahrscheinlichkeit |
| PET | Positronenemissionstomographie |
| rec | recurrence |
| RMSSD | root mean square of successive differences |
| RQA | recurrence quantification analysis |
| RR | Abstand zwischen zwei Herzschlägen |
| s | Sekunden |
| S/Min | Schläge pro Minute |
| SAS | statistical analysis system |
| SDNN | standard deviation of all NN |
| SE | standard error |
| t | t-Wert |
| Tab. | Tabelle |
| u. a. | unter anderem |
| UK | United Kingdom |
| USA | United States of America |
| vgl., vergl. | vergleiche |
| VHS | video home system |
| vs. | (versus) gegenüber gestellt |
| z. B. | zum Beispiel |
| z. T. | zum Teil |
| ZMP | Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle |

1. EINLEITUNG

Schweine (*Sus scrofa*) zählen mit zu den wichtigsten Nutztieren in Deutschland. Der Pro-Kopf-Verbrauch von Schweinefleisch lag im Jahr 2007 bei 40.1 kg (Quelle: ZMP/BMELV/BLE/Verbandsangaben, Stand: 17.10.2008), was insgesamt 3.3 Millionen Tonnen ergibt. Damit gehört Schweinefleisch nach wie vor zu der am meisten konsumierten Sorte Fleisch. Um diesen auch weltweit vorhandenen hohen Bedarf zu decken, leben allein in Deutschland ca. 26.7 Millionen Schweine, hauptsächlich in Intensivhaltung unter menschlicher Obhut (Quelle: Statistisches Bundesamt, Stand: Februar 2009). Intensive Haltungssysteme sind zumeist ökonomisch orientiert. Für den Landwirt bedeutet das, möglichst hohe Produktionsraten bei möglichst geringem finanziellen und zeitlichen Aufwand. Dies führte in zunehmendem Maße zu einer Automatisierung und Technisierung der Haltungsumwelt, die hohe Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit der Tiere stellen. Dem gegenüber steht eine monotone und reizarme Umgebung, die die Befriedigung von ethologischen Bedürfnissen wie beispielsweise Exploration weitestgehend verhindert und die Tiere sensorisch und kognitiv unterfordert. Die Folgen sind Langeweile und Verhaltensprobleme bis hin zu Beeinträchtigung von Gesundheit und Leistung (Broom, 1991; Wemelsfelder, 1997, 2005). Dabei liegt es in der Verantwortung der Landwirte eine ökonomische Betriebsführung und das Wohlergehen der Tiere zu vereinen. Denn es liegt in „... der Verantwortung des Menschen für das Tier als Mitgeschöpf dessen Leben und Wohlbefinden zu schützen. ...“ (Tierschutzgesetz § 1; BGBl.IS. 1207).

Das Wohlbefinden von Schweinen in Intensivhaltung gelangte in den letzten Dekaden in zunehmendem Maße nicht nur in den Fokus des wissenschaftlichen Interesses, sondern auch in das Bewusstsein der Verbraucher (Glass et al., 2005). Dabei umfasst Wohlbefinden nicht nur rein physische Gesundheitsaspekte und die Abwesenheit von abnormalen bzw. unerwünschten Verhaltensweisen, sondern auch die Möglichkeit Erfahrungen zu machen, die mit positiven emotionalen Zuständen verknüpft sind (Boissy et al., 2007b; Yeates and Main, 2008). Damit ist Wohlbefinden ein subjektiver Zustand, der sowohl aus komplexen, kognitiven Prozessen als auch emotionalen Wahrnehmungs- und Bewertungsmechanismen resultiert (Mendl, 1999; Dantzer, 2002; Désiré et al., 2002; Puppe, 2003; Mendl and Paul, 2004). Die Möglichkeit der Ausübung von ethologischen Bedürfnissen (Hughes and Duncan, 1988; Jensen and Toates, 1993; Studnitz et al., 2007) spielt für das Wohlbefinden ebenso eine Rolle wie Situationskontrolle, Vorhersehbarkeit von Ereignissen und erfolgreiche Bewältigung von Herausforderungen (Broom, 1996; Dantzer, 2002; Puppe, 2003; Bassett and Buchanan-Smith, 2007). Eine zentrale Stellung nimmt dabei das interne Belohnungssystem ein (Spruijt et al., 2001).

Seit geraumer Zeit versucht man die Probleme, die im Zusammenhang mit Wohlbefinden stehen, mit Anreicherung der Umwelt zu lösen. Es existieren viele Ansätze und bereits erste Verankerungen in deutschen Gesetzen wie dem Tierschutzgesetz, der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung bis hin zur EU-Ebene (EU-Richtlinie über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen (91/630/EWG)). Doch diese adressieren vornehmlich Verhaltensprobleme, drücken sich eher vage aus und lassen viel Spielraum für Interpretationen übrig.

Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (BGBl.IS.2043) § 21,1:
„Wer Schweine hält, hat sicherzustellen, dass jedes Schwein jeder Zeit Zugang zu gesundheitlich unbedenklichem und in ausreichender Menge vorhandenem Beschäftigungsmaterial hat, das (a) das Schwein untersuchen und bewegen kann und (b) vom Schwein veränderbar ist und damit dem Erkundungsverhalten dient; ...“

EU-Richtlinie über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen (91/630/ EWG):
„Neben den üblichen Vorkehrungen zur Verhinderung von Schwanzbeißen und sonstigem Fehlverhalten müssen alle Schweine unter Berücksichtigung der Haltungsbedingungen und der Besatzdichte über Stroh oder anderes geeignetes Material bzw. Gegenstände verfügen, um ihre verhaltensmäßigen Bedürfnisse zu befriedigen.“

Dabei ist es schwierig eine Anreicherung der Haltungsumwelt zu schaffen, die sich ohne größeren zeitlichen oder finanziellen Aufwand langanhaltend positiv auf das Wohlbefinden von Schweinen auswirkt (Tarou and Bashaw, 2007; van de Weerd and Day, 2009). Beschäftigungsgegenstände wie Ketten, Holz oder Bälle verlieren für Schweine schnell ihren Reiz und Substrate wie Stroh, Erde oder Kompost sind aufwändig und problematisch für die Gesundheit der Tiere bzw. das Funktionieren von Güllesysteme. Daher ist es erforderlich neue Ansätze zu finden, die sich umfassend und langfristig positiv auf das Wohlbefinden von Schweinen auswirken und die sich ohne größere Probleme in das Management integrieren lassen.

Erste Ansätze zeigen, dass sich kognitive Umweltanreicherung als geeignete Methode erweisen könnte (Langbein et al., 2004; Puppe et al., 2007; Manteuffel et al., 2009a). Ursprünglich stammen die Ansätze für diese recht neue Form der Umweltanreicherung aus dem Bereich der Zootierhaltung, wo unerwünschte Verhaltensweisen beseitigt und Zucht- sowie Auswilderungserfolge erhöht werden sollten (Shyne, 2006; Mason et al., 2007; Swaisgood, 2007). Diese Art der Umweltanreicherung ermöglicht über die erfolgreiche, kognitive Bewältigung von angemessenen Herausforderungen, also über Lern- und Erinnerungsmechanismen, die mit Belohnungen von hohem appetitiven Wert als Verstärker einhergehen, eine aktive Kontrolle und Vorhersehbarkeit der Umwelt (Meehan and Mench, 2007). Dabei ist das Potenzial vorhanden, Wohlbefinden über positive Emotionen und Situationsbewertung auf lange Sicht zu verbessern (Boissy et al., 2007b). Schweine haben ausgeprägte kognitive Fähigkeiten (Kouwenberg et al., 2009) und eignen sich daher besonders für diese Form der Umweltanreicherung.

Ernst et al. (2005) haben ein komplexes, automatisches *self-management*-Fütterungssystem entworfen, das Schweinen in Gruppenhaltung aktive Kontrolle und Vorhersehbarkeit der Umwelt ermöglicht und erfolgreiche Bewältigung von angemessenen, kognitiven Herausforderungen in Form von Lernaufgaben mit Futter als Belohnung verknüpft. Die Ergebnisse von Verhaltenstests (Puppe et al., 2007), Immunreaktivität (Ernst et al., 2006) und Fleischqualität (Fiedler et al., 2005) lieferten erste Anzeichen für positive Auswirkungen auf das Wohlbefinden von Schweinen.

In der vorliegenden Studie wurde dieser Versuchsansatz aufgegriffen und untersucht, welche Auswirkungen diese Form der kognitiven Umweltanreicherung auf ethologische und physiologische Parameter hat, die in Zusammenhang mit emotionaler Situationsbewertung stehen (Boissy et al., 2007b) und damit Indikatoren für Wohlbefinden sind.

1.1 Wohlbefinden

Das wissenschaftliche Interesse am Thema „Wohlbefinden“ hat im vergangenen Jahrhundert einen immensen Aufschwung erfahren. Ausschlaggebend war das Buch „Animal Machines“ von Ruth Harrison 1964 und der anschließende Brambell-Report 1965 über das Wohlbefinden intensiv gehaltener Kälber, Schweine und Hühner und der Empfehlung den Tieren ausreichend Platz zur Verfügung zu stellen, um aufzustehen und sich zu drehen sowie Kontakt zu Artgenossen zu ermöglichen. 1993 veröffentlichte das „UK Farm Animal Welfare Council“ basierend auf dem Brambell-Report die „5 Freiheiten“, die für das Wohlbefinden von Tieren notwendig sind: (1) Freiheit von Hunger und Durst, (2) Freiheit von Diskomfort, (3) Freiheit von Schmerz, Verletzung und Krankheit, (4) Freiheit normales Verhalten auszuüben sowie (5) Freiheit von Angst und Disstress. Der aufstrebende Tierschutzgedanke sowie Epidemie-Skandale wie BSE, Maul- und Klauenseuche und Vogelgrippe, die in den 1990ern durch die Medien weltweites Aufsehen erregten und Verbraucherskepsis hervorriefen, sensibilisierten die Öffentlichkeit für die Belange von landwirtschaftlichen Nutztieren in Intensivhaltung (Glass et al., 2005; Korte et al., 2007). Seit Ende der 1990er werden Tiere bis hin zur europäischen Gesetzesebene als empfindungsfähige Wesen angesehen, die

besonderen Schutz bedürfen (Duncan, 2006; Korte et al., 2007; Veissier et al., 2008). Seither wurden vielfältige Versuche und Herangehensweisen unternommen, um Wohlbefinden von Tieren auf wissenschaftlicher Ebene zu verstehen und zu definieren und über Gesetze auf nationaler und internationaler Ebene sicherzustellen.

Broom (1996) definiert das Wohlbefinden eines Individuums als „*its state as regards its attempts to cope with its environment*“ und Dawkins (1990) sieht in der Abwesenheit von Leiden eine Voraussetzung von Wohlbefinden, wobei Leiden ein subjektiver, emotionaler Zustand ist, der als Konsequenz von schwieriger oder erfolgloser Bewältigung der Umwelt angesehen werden kann. Der Versuch eines Individuums seine Umwelt zu bewältigen, beinhaltet eine Verhaltens-Komponente, eine physiologische Komponente sowie eine subjektive, emotionale Komponente. Das zeigt, wie komplex und vielseitig das Thema ist, welches allgemein als „Wohlbefinden“ bezeichnet wird.

1.1.1 Stress, coping und das Prinzip der Allostase

Das Verständnis von Wohlbefinden steht in engem Zusammenhang mit dem Konzept von Stress (Veissier and Boissy, 2007). Als einer der ersten, der sich mit dieser Thematik befasst hat, definierte Hans Selye Stress als eine unspezifische Antwort des Körpers auf jedwede Beanspruchung (Selye, 1973). Grundlage dieser Reaktion ist die Neigung des Körpers als offenes System, einen Zustand des Gleichgewichts (*steady state*) aufrecht zu erhalten. Dies geschieht über die Deckung des Bedarfs und das Vermeiden von Schäden (Bammert et al., 1993). Dieses als Homöostase bezeichnete Prinzip wurde von Claude Bernard und Walter Cannon entwickelt (Cooper, 2008). Es geht davon aus, dass sämtliche physiologische Variablen eines Organismus einen festen, internen Referenzwert haben (*set point*) und dass der Organismus bestrebt ist, diesen aufrecht zu erhalten. Auch Moberg and Mench (2000) sehen Stress als die Adaption von Verhalten und Physiologie, die ein Organismus unternimmt, um eine wahrgenommene Bedrohung, die die interne Homöostase beeinflusst, zu vermeiden oder sich anzupassen.

Die Verhaltensreaktion eines Individuums auf eine wahrgenommene Bedrohung bzw. aversive Stimuli, um die Effekte zu reduzieren, die sich negativ auf die Fitness auswirken, wird als *coping* definiert (Wechsler, 1995). Es existieren dabei zwei grundlegende Strategien: eine aktive Vermeidungsstrategie, die durch aktive Verhaltensweisen wie Aggressionen oder Fluch gekennzeichnet ist, und eine passive Vermeidungsstrategie, bei der Immobilität vorherrscht (Wechsler, 1995; Koolhaas et al., 1999). *Coping* wird als erfolgreich angesehen, wenn eine Anpassung bzw. Rückkehr zur Homöostase möglich ist (Broom, 1991). Erfordert *coping* großen physiologischen Aufwand oder ist es gar unmöglich, führt das zu einer Reduzierung der Fitness in Form von eingeschränktem Wachstum, eingeschränktem Reproduktionserfolg, beeinträchtigter Gesundheit oder sogar zum Tod, was gleichzusetzen ist mit schlechtem Wohlbefinden (Broom, 1996). Für einige Autoren entspricht diese Überforderung der Kontrollsysteme dem Begriff von „Stress“ (Dantzer, 1991; Broom and Johnson, 1993; von Borell, 2000; Morgan and Tromborg, 2007). Die Schlussfolgerung, die sich daraus ergibt, ist, dass gutes Wohlbefinden garantiert ist, wenn keinerlei Herausforderungen die Homöostase beeinträchtigen. Dem gegenüber stehen aber eine Vielzahl von Untersuchungen zu ethologischen Bedürfnissen, denen keine direkten physiologischen Ursachen zugrunde liegen (Hughes and Duncan, 1988; Jensen and Toates, 1993) und deren Nichterfüllung zu Langeweile, Stereotypen und abnormalen Verhaltensweisen führen kann (Wemelsfelder, 2005; Swaisgood, 2007).

Das neuere Konzept der Allostase sieht neben der Überforderung (Hyperstimulation) der biologischen Kontrollsysteme auch in der Unterforderung (Hypostimulation) eine Gefahr für das Wohlbefinden (Korte et al., 2007). Somit hängen Wohlbefinden und der Grad der Herausforderung durch die Umwelt nicht negativ linear zusammen (je stärker die Beanspruchung, desto schlechter das Wohlbefinden). Vielmehr wird ein optimales Wohlbefinden bei mäßiger Beanspruchung durch die Umwelt und demzufolge einer weit gefächerten regulatorischen Anpassungsfähigkeit erreicht. Nach dem Prinzip der Allostase, „Stabilität durch Veränderung“, sind die internen Referenzwerte variabel und werden den erwarteten Umweltbedingungen und Anforderungen angepasst, um eine optimale Funktionsweise bei minimalen biologischen Kosten zu gewährleisten. Wichtige Faktoren für diese koordinierte Plastizität sind Erfahrungen, Erinnerungen und Emotionen.

1.1.2 Emotion, Kognition, Motivation und Bewertung

Dawkins definierte die Abwesenheit von Leiden als Voraussetzung für Wohlbefinden, wobei Leiden sich auf jedwede negative Emotion wie Schmerz, Frustration oder Hunger bezieht (Dawkins, 1990; Veissier and Boissy, 2007; Dawkins, 2008). Damit wurde der Anspruch erhoben, dass Tiere empfindungsfähige Wesen sind und eine subjektive Komponente in das Konzept von Wohlbefinden mit einbezogen (Duncan, 2006; Boissy et al., 2007a). Désiré et al. (2002) definieren Emotionen als eine intensive, kurzlebige, affektive Antwort auf Ereignisse mit besonderen körperlichen Veränderungen. Affekt und Emotion sind zwei Begriffe, die in der Literatur häufig synonym und oftmals uneinheitlich verwendet werden. Posner et al. (2005) beschreiben den Affekt als sehr schnelle neurophysiologische Reaktion auf ein Ereignis. Diese weist eine bestimmte Valenz auf der kontinuierlichen Skala zwischen positiv und negativ sowie einen gewissen Grad der Erregung auf. Da diese neurophysiologische Reaktion subkortikal stattfindet, ist sie unbewusst und durch die enge Verknüpfung mit dem Stammhirn, kann eine erste unbewusste physiologische und ethologische Reaktion ausgelöst werden. Die neurophysiologischen Veränderungen werden schließlich zusammen mit den sensorischen Eindrücken 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. Das Ergebnis wird als Emotion bezeichnet und weist eine ethologische, eine physiologische und eine subjektive Komponente auf (Désiré et al., 2002). Aus evolutionärer Sicht haben sich Emotionen als vorteilhaft 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 (Désiré et al., 2002). Gestützt wird diese Annahme durch Vergleiche zwischen Tieren und dem gut untersuchten Menschen. Dabei treten Homologien in den entsprechenden Hirnregionen auf, die mit Emotionen in Verbindung gebracht werden sowie Analogien bei den ethologischen und physiologischen Reaktionen, die in Situationen auftreten, die mit bestimmten Emotionen einhergehen. Demzufolge hängt eine Stressantwort und damit Wohlbefinden nicht direkt von der Situation ab, sondern von der subjektiven Interpretation durch das Individuum (Duncan and Petherick, 1991; Désiré et al., 2002).

Für die Interpretation von Ereignissen bzw. Situationen ist eine kognitive Komponente notwendig, die eine Bewertung vornimmt (Veissier and Boissy, 2007). Nach der *appraisal*-Theorie von Scherer (2003) werden in dem Bewertungsprozess verschiedene Kriterien überprüft, wie Plötzlichkeit, Bekanntheit, Vorhersehbarkeit, Kontrollierbarkeit, Anpassungsmöglichkeit, etc., welche in einer spezifischen Emotion resultieren sowie zu spezifischen ethologischen und physiologischen Reaktionen führen (Veissier and Boissy, 2007). Es existieren bereits erste Untersuchungen, die zeigen, dass Tiere spezifisch auf Unterschiede in Plötzlichkeit und Bekanntheit (Désiré, 2004; Désiré et al., 2006), Vorhersehbarkeit (Bassett and Buchanan-Smith, 2007; Greiveldinger et al., 2007) und Kontrollierbarkeit (Sambrook and Buchanan-Smith, 1997) von Ereignissen bzw. Situationen reagieren. Die wichtige Rolle der Anpassungsmöglichkeit wurde bereits im Zusammenhang mit Stress und *coping* im Abschnitt 1.1.1 beschrieben.

Eine weitere wichtige Komponente wird von vielen Autoren in das komplexe System von Kognition, Emotion und Aktion einbezogen – die Motivation (Toates, 2004; Lang and Davis, 2006). Motivationen im Allgemeinen werden als Grundlagen von Verhalten angesehen und entstehen durch Interaktionen von extrinsischen Bedingungen und intrinsischen Signalen (Spruijt et al., 2001). Generell ist Motivation intrinsischer Natur, kann aber extrinsisch moduliert werden (Manteuffel et al., 2009b). Dabei bilden sich im Gehirn interne Repräsentationen eines Zieles, die zielorientiertes Verhalten auslösen (Jensen and Toates, 1997). Die Konsequenzen des Verhaltens werden schließlich in Relation zum angestrebten Ziel bewertet (Manteuffel et al., 2009b).

Neben der emotionalen Bedeutung der *a priori* Bewertung von Situationen, welche maßgeblich von bisherigen Erfahrungen geprägt ist, zeigen Spruijt et al. (2001) die Bedeutung dieser *post hoc* Bewertung über Belohnungsmechanismen auf. So führt jegliche Reduzierung der Differenz zwischen aktuellem Zustand und erwartetem Zustand (= Ziel) zu positiven Emotionen, die beim Menschen als Freude empfunden wird. Dabei existiert ein positiver Zusammenhang zwischen der Größe der Differenz und dem anschließenden belohnenden Wert, wenn diese Differenz reduziert

wurde. Das Unvermögen, den aktuellen Zustand an den erwarteten anzupassen, geht demzufolge mit negativen Emotionen und Disstress einher (Jensen and Toates, 1997). Vermittelt wird der belohnende Wert auf biochemischem Weg über Dopamin, das den Motivationswert in der appetitiven Phase widerspiegelt („wollen“) und endogene Opioide, die der konsumierten Belohnung einen Wert geben („mögen“), wobei beide Systeme unabhängig voneinander funktionieren (Spruijt et al., 2001; Burgdorf and Panksepp, 2006). Eine wichtige Rolle spielt dabei auch die Adaptivität des Systems, d. h. Toleranzbildung bei häufigem Auftreten einer Situation bzw. Sensibilisierung bei seltenem oder unregelmäßigem Auftreten eines Ereignisses, was den Motivations- und/oder Belohnungswert des Ereignisses erhöht. Damit bilden aktuelle Belohnungsmechanismen die Grundlage für spätere Motivationen und *a priori* Bewertung von Situationen und Ereignissen und sind damit essentiell für Wohlbefinden.

Die Vielfalt der Herangehensweisen an das Thema „Wohlbefinden“ zeigt gleichzeitig dessen Komplexität und die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung, d. h. die Berücksichtigung der vielfältigen Aspekte wie Stress, *coping*, Emotionen, Bewertung und Belohnung.

Die meisten künstlich geschaffenen Umgebungen, wie die Haltungssysteme von Nutztieren, sind strukturell einfach und reagieren nicht auf das Verhalten der Tiere (Morgan and Tromborg, 2007). Sie geben den Tieren nicht die Möglichkeit derart mit ihrer Umgebung zu interagieren, dass die Entwicklung von sensorischen und kognitiven Fähigkeiten gefördert wird oder arttypische Verhaltensweisen ermöglicht werden. Aktuelle Ansichten von Wohlbefinden haben bereits zur Implementierung von Richtlinien und Gesetzen geführt (EU-Richtlinie über Mindestanforderungen für den Schutz von Schweinen¹; Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung²) und damit erste Veränderungen von Haltungssystemen bewirkt. Zudem schreitet die Entwicklung von Strategien voran, die Bedingungen in intensiven Haltungssystemen zu verbessern (Newberry, 1995).

1.2 Umweltanreicherung

Die Anreicherung der Umwelt ist eine Methode Probleme anzugehen, die im Zusammenhang mit Wohlbefinden stehen (Swaisgood, 2007). Die „Probleme“ beziehen sich meist auf das Verhalten der Tiere, d. h. abnormale bzw. unerwünschte Verhaltensweisen sollen reduziert und/oder natürliche bzw. erwünschte Verhaltensweisen gefördert werden (Newberry, 1995; Mench, 1998; Mason et al., 2007). Die häufigste Form der Umweltanreicherung ist dabei die strukturelle Anreicherung der Haltungsumwelt, die insbesondere in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung Anwendung findet (Azevedo et al., 2007). Diese Form der Anreicherung erhöht die Komplexität der Haltungsumwelt durch eine Strukturierung in mehrere funktionale Bereiche oder bietet den Tieren Objekte oder Substrate in verschiedener Form, wie z. B. Bällen, Ketten, Holz, Stroh, Kompost, etc. an (van de Weerd and Day, 2009). Dabei werden u. a. ethologische Bedürfnisse angesprochen und Verhaltensdiversität gefördert. Einschränkungen in der Anwendbarkeit ist auf Seiten der Tiere die Neigung zur Habituation, d. h. Reduzierung der Interaktion mit dem Objekt der Anreicherung, und zur Extinktion, d. h. Effekte, die durch die Anreicherung erreicht wurden, verschwinden, wenn das Objekt der Anreicherung nicht mehr vorhanden ist (Tarou and Bashaw, 2007; Trickett et al., 2009). Dies tritt insbesondere bei der Anreicherung der Haltungsumwelt mit Objekten auf. Es existieren verschiedene Ansätze, um der Habituation und der Extinktion entgegen zu wirken wie z. B. die Rotation von vielen Objekten über mehrere Gruppen, das zeitweise Entfernen der Objekte aus der Umwelt oder das Anbieten von Objekten, die sich durch das Verhalten der Tiere verändern, z. B. durch Zerstörung (Tarou and Bashaw, 2007; Trickett et al., 2009; van de Weerd and Day, 2009). Die Praktikabilität, Wirtschaftlichkeit und gesundheitlichen Aspekte von Umweltanreicherungen sind wesentliche Faktoren in der Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere (Newberry, 1995; van de Weerd and Day, 2009). Ein erhöhter zeitlicher und/oder finanzieller Aufwand durch aufwändige Strukturierung und Sauberhaltung der Haltungsumwelt, Management von Anreicherungsobjekten oder ständige Erneuerung der Anreicherung bzw. die Beeinträchtigung der Tiergesundheit stehen

¹ 91/630/EWG

² BGBl.I.S.2043

dabei selten in Relation zum effektiven Nutzen der Umweltanreicherung bezüglich Ausmaß und Dauer der positiven Effekte.

Neben der strukturellen kann auch eine soziale, Futter betreffende oder sensorische Anreicherung der Haltungsumwelt erfolgen (Azevedo et al., 2007; Wells, 2009). Da alle landwirtschaftlichen Nutztiere sozial lebende Arten sind und in großen Anzahlen gehalten werden, spielt die soziale Umweltanreicherung bei diesen, im Gegensatz zu Zoo- und Labortieren, eine eher untergeordnete Rolle. Ebenso die Anreicherung in Bezug auf Futter. Diese betrifft die Variabilität des Futters oder den Aufwand der Futteraufnahme, der durch Verteilen, Verstecken oder Mischen der konventionellen Nahrung mit nicht essbaren Substraten erhöht werden kann (Newberry, 1995). Hier ergeben sich in der Landwirtschaft durch die Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit deutliche Einschränkungen, insbesondere durch den notwendigen zeitlichen Aufwand und das Vorhandensein von Spaltenböden, die zur Futterschwendung führen würden. Die Wirkung von sensorischer Umweltanreicherung, z. B. durch Musik oder Licht, werden aufgrund mangelnder Kenntnisse über die tatsächlichen sensorischen Fähigkeiten der entsprechenden Spezies bzw. der fraglichen Relevanz diverser sensorischer Informationen angezweifelt (Newberry, 1995; Azevedo et al., 2007). Des Weiteren beinhaltet auch eine strukturelle Umweltanreicherung durch Objekte oder Substrate verschiedene sensorische Stimuli, z. B. olfaktorische und taktile.

Die bisher am wenigsten untersuchte Form der Umweltanreicherung, insbesondere bei landwirtschaftlichen Nutztieren, ist die kognitive Anreicherung der Haltungsumwelt (Azevedo et al., 2007). Dabei müssen die Tiere unter Verwendung ihrer kognitiven Fähigkeiten und durch eine aktive Interaktion mit ihrer Umwelt angemessene Probleme bzw. Herausforderungen lösen (Meehan and Mench, 2007). Angemessene Herausforderungen sollten in ihrer Form den sensorischen, physiologischen, ethologischen und kognitiven Fähigkeiten der Tiere angepasst sein und in ihrem Schwierigkeitsgrad keine Überforderung oder Unterforderung darstellen (Wemelsfelder, 2005; Meehan and Mench, 2007; Manteuffel et al., 2009a). Bei den bisherigen Untersuchungen wurde operante Konditionierung („Lernen am Erfolg“) bei Kühen (Hagen and Broom, 2004), Ziegen (Langbein et al., 2004) und Schweinen (Ernst et al., 2005) eingesetzt, um angemessene kognitive Herausforderungen zu erzeugen und bei zunehmender Lernleistung sogar zu steigern. Nach dem bereits beschriebenen Prinzip der Allostase (Korte et al., 2007) ist ein gewisses Ausmaß an Stress bzw. Herausforderung durch die Umwelt notwendig, um die Flexibilität der biologischen Funktionsweise (Verhalten, Physiologie und Kognition) aufrecht zu erhalten oder sogar zu verbessern. Außerdem wird mäßiger Stress mit einer verbesserten Lernleistung und Gedächtnisbildung in Zusammenhang gebracht (Mendl, 1999). In allen Fällen erhielten die Tiere nach der Bewältigung der Herausforderung eine externe Belohnung von hohem appetitiven Wert (Futter oder Wasser), was wesentlich effektiver bei der längerfristigen Vermeidung oder Verzögerung von Habituation (Tarou and Bashaw, 2007) und der Aktivierung des zentralnervösen Belohnungssystems ist (Spruijt et al., 2001). Futter und Wasser sind darüber hinaus essentielle Ressourcen, über deren Verfügbarkeit Tiere in Gefangenschaft nur wenig Kontrolle haben (Manteuffel et al., 2009a). Das gilt insbesondere für Futter, das meist restriktiv zur Verfügung steht. Da operante Konditionierung nicht nur kognitive sondern auch ethologische Aktivität und Interaktion mit der Umwelt erfordert, die bei Bewältigung mit essentiellen Ressourcen belohnt wird, erlangen die Tiere eine gewisse Kontrolle über ihre Umwelt, was von großer Bedeutung für Wohlbefinden ist (Sambrook and Buchanan-Smith, 1997).

Strukturelle, soziale, sensorische und rein Futter bezogene Umweltanreicherungen streben meist eine Veränderung von Verhalten an, also weniger abnormales und mehr natürliches Verhalten, dem ethologische Bedürfnisse wie Futtersuche, Exploration oder das Sammeln von Umweltinformationen zugrunde liegen (Inglis et al., 2001; Mason et al., 2007; Studnitz et al., 2007; Tarou and Bashaw, 2007). Doch die Befriedigung von ethologischen Bedürfnissen ist nur ein Teilaspekt von Wohlbefinden. Kognitive Umweltanreicherung spricht ein wesentlich breiteres Spektrum von Faktoren an, die mit Wohlbefinden im Zusammenhang stehen. Sie ermöglicht eine erfolgreiche Bewältigung, aktive Kontrolle und Vorhersehbarkeit der Umwelt, die, verknüpft über Belohnungen, eine potenzielle Quelle von positiven Emotionen und damit lang anhaltendem Wohlbefinden ist (siehe Abschnitt 1.1; Meehan and Mench (2007); Manteuffel et al. (2009a)).

Wichtig für die Beurteilung der Effekte von kognitiver Umweltanreicherung sind sorgfältig ausgewählte Indikatoren und Nachweismethoden (Meehan and Mench, 2007).

1.3 Nachweismethoden für die Auswirkungen von Umwelтанreicherung

1.3.1 Allgemein

Die meisten Untersuchungen, die sich mit Wohlbefinden und Umwelтанreicherung von landwirtschaftlichen Nutztieren beschäftigten, verwendeten Methoden, die sich auf negative Zustände wie Disstress, Angst, Schmerz und Leiden bezogen, also wie schlecht es den Tieren in einem bestimmten Haltungssystem geht (Barnett and Hemsworth, 1990; Broom, 1991; Yeates and Main, 2008). Die theoretischen Grundlagen bildeten u. a. das Konzept der ethologischen Bedürfnisse (Hughes and Duncan, 1988; Jensen and Toates, 1993), das Stress-Konzept (Cannon, 1929; Selye, 1973) und das Konzept von Leiden (Dawkins, 2008). Als ethologische Indikatoren dienten u. a. stress-assoziierte Vokalisationen (Manteuffel et al., 2004; Düpjan et al., 2008) und das Auftreten von Stereotypen (Mason, 1991b,a), abnormalem Verhalten sowie vermehrten Aggressionen (Broom, 1988). Physiologische Untersuchungen betrachten oftmals die Aktivität des Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Systems, mit Hormonen wie Cortisol und adrenocorticotropes Hormon (ACTH), sowie die Aktivität des Sympathikus-Nebennierenmark-Systems mit den neurochemischen Indikatoren Adrenalin und Noradrenalin (Gonyou, 1986; Manteca, 1998; Kanitz et al., 2004). So führen aversive Situationen z. B. zu erhöhten Werten von Cortisol und Adrenalin (Kanitz et al., 2004; Otten et al., 2004; Kanitz et al., 2005). Ambivalente Ergebnisse bei anderen Studien, die in positiven Kontexten ähnliche affektive, hormonelle Reaktionen wie in aversiven Situationen nachgewiesen haben, lassen darauf schließen, dass die klassischen „Disstress“-Hormone wie Cortisol und Adrenalin eher Indikatoren für das Ausmaß der Erregung eines Individuums sind, als für die Valenz der Ereignisse (Korte et al., 2007). Das bedeutet, dass kurzfristige Erhöhungen der Hormone adaptiven Charakter haben. Chronische Erhöhungen hingegen sind schädlich für den Organismus, was sich sogar negativ auf die Nachkommen auswirken kann, wenn es während der Trächtigkeit auftritt (Otten et al., 2001; Gräbner et al., 2009). Durch die enge Verbindung zwischen dem neuroendokrinen System und dem Immunsystem zeigen Tiere, die Disstress ausgesetzt sind, auch eine deutliche Beeinträchtigung des Immunsystems in Form einer Immunsuppression, was die Krankheitsanfälligkeit erhöht (Kanitz et al., 2004; Tuchscherer et al., 2004). In den meisten Untersuchungen werden weitere Parameter erhoben, die mit „Fitness“ assoziiert werden und relevant für die Produktivität und Ökonomie sind, z. B. Wachstum, Reproduktionserfolg und -leistung, Lebenserwartung, Krankheiten, pathologische Befunde und Verletzungen (Broom, 1988; Gonyou, 1993).

Dabei sollte Wohlbefinden mehr als nur die bloße Abwesenheit von negativen Zuständen bzw. negativ-assoziierten Indikatoren sein, sondern auch positive Zustände einbeziehen (Fraser and Duncan, 1998; Boissy et al., 2007b; Yeates and Main, 2008). Demzufolge sollte eine langfristig erfolgreiche Umwelтанreicherung nicht nur grundlegende Bedürfnisse wie Bewegungsfreiheit und Exploration befriedigen, sondern auch positive Erfahrungen ermöglichen (Spruijt et al., 2001; van der Harst and Spruijt, 2007).

Der Nachweis von positiven, emotionalen Zuständen ist allgemein schwieriger als der negativer. In den letzten Jahren zeigte sich jedoch ein zunehmendes Interesse auf diesem Gebiet (Puppe et al., 2005a; Manteuffel, 2006; Boissy et al., 2007b; Yeates and Main, 2008). Als Indikatoren werden sowohl physiologische als auch ethologische Parameter herangezogen.

Ethologische Indikatoren, die mit positiven, emotionalen Zuständen in Verbindung gebracht werden, sind z. B. Spielverhalten (Dudink et al., 2006), soziopositives Verhalten (*grooming*; Sato et al. (1991)), spezielle Formen der Vokalisation (Panksepp and Burgdorf, 2003) und die Reaktivität in Verhaltenstests (Puppe et al., 2007). Verhaltenstests haben dabei den Vorteil, dass sie standardisiert in jedem Alter (Spielverhalten tritt vornehmlich bei Jungtieren auf), zu jeder Zeit (die Erfassung von soziopositivem Verhalten erfordert lange Beobachtungszeiten) und bei einer Vielzahl von Spezies durchgeführt werden können (positiv-emotionale Vokalisationen konnten bisher nur bei Ratten, Katzen und Schafen nachgewiesen werden). Die Ergebnisse von Ansätzen wie dem *open field*-Test, dem *novel object*-Test und dem *human approach*-Test lassen Rückschlüsse auf Ängstlichkeit (Forkman et al., 2007) und, bei einer Wiederholung des Tests, auf die Fähigkeit zur Habituation an einen Stressor zu (Korte et al., 2007).

Physiologische Indikatoren für positive, emotionale Zustände sind größtenteils noch hypothe-

tisch, da bisher hauptsächlich Nachweise aus der Humanpsychologie vorhanden sind. Als potentielle Kandidaten werden angesehen: die Proteinzusammensetzung des Speichels, Immunglobuline und neurologische, bildgebende Verfahren wie EEG, PET und fMRI, wobei letztere in ihrer Anwendbarkeit bei landwirtschaftlichen Nutztieren einer starken Einschränkung unterliegen dürften (Boissy et al., 2007b; Yeates and Main, 2008). Ein vielversprechender physiologischer Indikator, der im Zusammenhang mit emotionalen und affektiven Reaktionen verwendet wird und bereits in einigen Studien an landwirtschaftlichen Nutztieren angewendet wurde, ist die Herzschlagvariabilität (von Borell et al., 2007).

1.3.2 Herzschlagvariabilität

Reguliert wird die Aktivität des Herzens über das autonome Nervensystem, das seine Ursprünge im Stammhirn hat (Porges, 1995b; Thayer and Lane, 2009). Die Herzfrequenz ist das Ergebnis der komplexen Interaktionen der beiden antagonistischen 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., 2007b). Der Hauptregulator im autonomen Nervensystem ist der *Nervus vagus* des parasympathischen Nervensystems (im Folgenden wird dieser als Vagus bezeichnet), der vorrangig interne physiologische Bedürfnisse wie Herzschlag, Atmung und Verdauung reguliert (Porges, 1995b; Teff, 2008). Daher wird im Rahmen dieser Arbeit hauptsächlich Bezug auf den Vagus bzw. die vagale Aktivität genommen und nicht auf das parasympathische Nervensystem als Ganzes. Die Ursprünge des efferenten Vagus sind zwei räumlich voneinander getrennte Strukturen. Der *dorsale motorische Nucleus* steuert hauptsächlich die Verdauung, während der *Nucleus ambiguus* durch seine oszillierenden Eigenschaften die zyklische Aktivität von Herzschlag und Atmung bestimmt (Porges, 1995b). Durch die schnelle Erregungsleitung über myelinisierte Axone hat eine Veränderung der Aktivität des Vagus sehr rasche Auswirkungen auf die Zielorgane, z. B. verändert sich die Herzschlagaktivität von einem Herzschlag auf den nächsten (Porges, 2003). Dadurch ist der Vagus als Hauptregulator im autonomen Nervensystem in der Lage schnell auf Veränderungen der internen Bedingungen und Bedürfnisse zu reagieren und eine sofortige Anpassung in der Aktivität der entsprechenden Organe zu bewirken. Das sympathische Nervensystem reagiert vorrangig auf Anforderungen, die durch die externe Umwelt gestellt werden und die aktives Verhalten erfordern. Die Erregungsleitung erfolgt allerdings über unmyelinisierte Axone, wodurch die Effekte verzögert auftreten, z. B. führt eine Aktivierung des Sympathikus erst nach 5 Sekunden zu einem Anstieg der Herzfrequenz. Da sich die externen und internen Bedingungen eines Individuums mit jedem Augenblick mehr oder weniger stark ändern, reguliert das autonome Nervensystem permanent und adaptiv die Aktivität interner physiologischer Vorgänge. Somit variiert auch die Herzfrequenz mit jedem Herzschlag, was zum Konzept der Herzschlagvariabilität führte (Camm et al., 1996). Eine hohe Herzschlagvariabilität, bedingt durch einen hohen Vagus-Tonus, zeigt eine gute regulatorische Flexibilität und damit Anpassungsfähigkeit des Organismus an (Porges, 1995a; Friedman and Thayer, 1998; Thayer and Sternberg, 2006). Ein verringerter Vagus-Tonus hingegen, verursacht durch z. B. Distress, 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 kurzzeitige sympathische Dominanz hat adaptiven Charakter, während eine chronische Dominanz schädlich ist und zu Fehlregulationen wie z. B. Bluthochdruck, Diabetes, Entzündungen, etc. führt. Es wurden eine Reihe von Methoden entwickelt, um die Aktivität des Vagus, die sympatho-vagale-Balance und die generelle regulatorische Flexibilität des autonomen Nervensystems aus nicht invasiven Messungen zu erfassen (von Borell et al., 2007), während die Ableitung der sympathischen Aktivität aus der Herzschlagvariabilität bisher erfolglos blieb. Wie bereits erwähnt, ist der Vagus der Hauptregulator im autonomen Nervensystem, der sowohl schnelle Veränderungen von einem Herzschlag auf den nächsten, als auch etwas langsamere, zyklische Veränderungen verursacht, die im Zusammenhang mit der Atmung stehen (respiratorische Sinusarrhythmie) (Berntson et al., 1993; Porges, 1995b). Somit konnte in den berechneten Parametern entweder die Aktivität des Vagus oder die gemeinsame Aktivität von Vagus und Sympathikus erfasst werden, jedoch nicht die sympathische Aktivität

allein.

Des Weiteren steht das autonome Nervensystem in reziproker Verbindung mit übergeordneten Hirnzentren, wie dem präfrontalen Kortex, dem Hypothalamus und dem limbischen System (Thayer and Lane, 2009). Letzteres wird als Ursprungsort von Emotionen angesehen (Wiepkema and Koolhaas, 1992) und kann durch seine enge Verknüpfung mit dem autonomen Nervensystem die Aktivität des Herzes direkt beeinflussen. Eine Verringerung der Herzschlagvariabilität durch reduzierte vagale und/oder erhöhte sympathische Aktivität wurde in vielen Studien mit physischem (Sport, Hitze, Krankheit, etc.) und psychischem Stress (Angst, Lernen, Aggressionen, etc.) in Verbindung gebracht, während eine erhöhte Herzschlagvariabilität mit positiven Situationen (Freude, Entspannung, etc.) assoziiert wird (Hansen, 1999; Boissy et al., 2007b; von Borell et al., 2007). Ein Großteil der Ergebnisse stammt dabei aus dem Gebiet der Humanmedizin und -psychologie. Dass auch landwirtschaftliche Nutztiere verschiedene Situationen unterschiedlich emotional bewerten, zeigen die Studien von Désiré (2004), Désiré et al. (2006) und Greiveldinger et al. (2007) an Schafen. Hagen and Broom (2004) und Langbein et al. (2004) untersuchten hingegen die Auswirkungen von Lernprozessen auf die Herzaktivität von Rindern bzw. Ziegen. Da die Herzschlagaktivität und -variabilität nicht nur von Emotionen beeinflusst wird, sondern auch maßgeblich von physischer Aktivität (Lokomotion vs. Liegen), ist es unbedingt erforderlich, für die zuverlässige Interpretation der Ergebnisse, sowohl Herzschlagaktivität, als auch Verhalten parallel zu erfassen (von Borell et al., 2007).

Die schwierige Interpretierbarkeit von einzelnen Parametern durch ambivalente Ergebnisse in der Literatur macht erforderlich, dass mehrere verschiedene Indikatoren von Wohlbefinden erfasst und gemeinsam interpretiert werden (Manteca, 1998).

1.4 Fragen und Zielstellung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, die emotionale Bewertung kognitiver Herausforderungen durch Tiere zu überprüfen und einen Beitrag zur nachhaltigen Verbesserung von Haltung, Management und Wohlbefinden zu leisten.

Als Versuchstiere sollten Schweine in 6 Gruppen á 4 Tieren, im Alter von 10 bis 16 Wochen, über einen Zeitraum von 7 Wochen, kognitive Umweltereicherung in Form von Herausforderungen erhalten, die mit Futter belohnt wurden. Die kognitiven Herausforderungen stellte ein automatisch aufrufendes Fütterungssystem nach Ernst et al. (2005) bereit. Der Vergleich mit konventionell gefütterten Kontrolltieren sollte mittels Analyse von physiologischen und Verhaltens-Parametern erfolgen, die potenziell indikativ für affektive Reaktionen und positive emotionale Zustände und damit für Wohlbefinden sind.

Die Parameter aus dem Bereich des Verhaltens umfassen die Bewältigungskompetenz der Schweine, also das Lernen bei der Interaktion mit dem Fütterungssystem sowie die Verhaltensreaktivität in einer externen Belastungssituation in Form eines kombinierten *open field / novel object* Tests. Im Bereich der Physiologie wurde ein nicht-invasives Herzfrequenz-Messsystem³ verwendet, aus dessen aufgezeichneten Daten nicht nur die Herzfrequenz, sondern auch die Herzschlagvariabilität sowie die nicht-lineare, deterministische Dynamik der Herzschlagaktivität abgeleitet werden kann. An frei beweglichen, wachsenden Schweinen innerhalb einer sozialen Gruppe, wie in der vorliegenden Untersuchung mit jeweils 4 Tieren, kam ein solches Messsystem bisher nicht zum Einsatz.

Die grundlegende Hypothese der vorliegenden Arbeit ist, dass durch die Bewältigung von wiederholt auftretenden, mit Futter belohnten, kognitiven Herausforderungen positive emotionale Zustände bei Schweinen erzeugt werden, die im Gegensatz zu konventionell gefütterten Kontrolltieren, sowohl kurzfristig, als auch längerfristig, zu einer verbesserten ethologischen und physiologischen Anpassungsfähigkeit der Versuchstiere führen. Dies sollte sich in explorativerem und weniger ängstlichem Verhalten in der externen Belastungssituation äußern sowie in einer allgemein höheren Aktivität des Vagus im autonomen Nervensystem, der auf physiologischer Ebene regulatorische Flexibilität und Anpassungsfähigkeit widerspiegelt.

³ Polar[®] S810i, Polar Electro Oy Finnland

Allgemein wird die Frage untersucht, ob es Unterschiede zwischen konventioneller Fütterung und einem automatisch aufrufenden Fütterungssystem gibt, bei dem die Schweine mittels der Lösung kognitiver Herausforderungen Futter als Belohnung erhielten. Im Detail werden folgende Fragen bearbeitet:

1. Treten kurzfristige Unterschiede in der physiologischen Reaktion auf die Fütterungssituation auf (Aufruf vs. konventionelle Fütterung)?
2. Können längerfristige Veränderungen in der grundlegenden Aktivität bzw. Balance des autonomen Nervensystems nachgewiesen werden?
3. Gibt es Unterschiede in der Reaktion auf einen externen Verhaltenstest sowohl im Verhalten, als auch in der Aktivität des autonomen Nervensystems?

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Versuchstiere und Haltung

Als Versuchstiere dienten insgesamt 48 männliche, kastrierte Ferkel (*Sus scrofa*) der Deutschen Landrasse aus 24 Würfen der institutseigenen Zucht der „Experimentalanlage Schwein“ des Forschungsinstitutes für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN). Die Würfe verteilten sich auf 6 Durchgänge. In jedem Durchgang wurden fünf Sauen ausgesucht, die sich im zweiten bis achten Wurf befanden. In den eigentlichen Versuch gelangten später jeweils 2 Ferkel von 4 der 5 Sauen. Die Abferkelung erfolgte in Scan-Abferkelbuchten mit Ferkelschutzkörben (Stabenow and Manteuffel, 2002). Aus gesundheitlichen Aspekten und um das Überleben möglichst aller Ferkel zu gewährleisten, wurden einige Ferkel am ersten Lebenstag in andere Würfe zu Ammenmüttern umgesetzt. In den ersten Lebenstagen fanden übliche zootechnische Maßnahmen wie Kastration, Schwanzkürzen sowie Kürzen der Eckzähne statt.

Nach vier Wochen Säuagezeit erfolgte das Absetzen der Ferkel, wobei zunächst von jeder der fünf Sauen zwei männliche Ferkel ausgesucht wurden. Das überzählige Geschwisterpaar diente als Absicherung gegen plötzliche Ausfälle wegen Krankheit oder Todes. Kriterien für die Auswahl waren die Nähe des individuellen Gewichtes zum statistischen Mittelwert der Gewichte aller männlichen Ferkel der fünf Würfe sowie eine möglichst große Ähnlichkeit im Gewicht der ausgewählten Ferkel untereinander. Diese Kriterien wurden gewählt, um eine Homogenität in der Gewichtsverteilung zu erreichen, da das Gewicht einen großen Einfluss auf die Parameter der Herzschlagaktivität und -variabilität hat (von Engelhardt, 1965; Kuwahara et al., 1986). Anschließend wurden die fünf Geschwisterpaare getrennt und zufällig so in zwei Gruppen aufgeteilt, dass in jeder Gruppe jeweils 1 Geschwisterteil vorhanden war und die Gruppenmittelwerte der Gewichte annähernd gleich waren. Eine Gruppe wurde per Zufall zur späteren Versuchsgruppe bestimmt, während die andere als Kontrollgruppe diente.

Beide Behandlungsgruppen bezogen ein Flatdeck (Maße: 1.80 m × 2.50 m) mit Vollspaltenboden und Heizplatte (Ferkelnest), in dem die Versuchsgruppe und die Kontrollgruppe durch eine Sichtschutzwand voneinander getrennt wurden. In jedem Abteil stand den Ferkeln ein Trog mit fünf Fressplätzen (Tier-Fressplatz-Verhältnis 1:1) sowie eine Nippeltränke mit Wasser *ad libitum* zur Verfügung. Die Ferkel erhielten während der Säugephase Beifutter¹ „Turbostart“, von der fünften bis zur sechsten Lebenswoche Ferkelfutter¹ „Porcistart“ *ad libitum*, von der siebten bis zur zehnten Lebenswoche Läuferfutter¹ „Porcibig“ *ad libitum* und von der 11. Lebenswoche bis zum Ende des Versuches (16. Lebenswoche) Aufzuchtfutter¹ „Jungsauenaufzucht“.

Mit Beginn der zehnten Lebenswoche wurden vier der fünf Geschwisterpaare für den eigentlichen Versuch ausgewählt. Herausgenommen aus dem Versuch wurden Tiere, deren Gewicht stark vom Rest der Gruppe abwich oder die gesundheitlich beeinträchtigt waren, z. B. durch Brüche, Fisteln, Durchfall, etc.. Die übrigen Schweine der Versuchsgruppe erhielten einen Ohr-Responder zur individuellen Tiererkennung und wurden gemeinsam mit der Kontrollgruppe umgestallt. Das durchschnittliche Gewicht in beiden Behandlungsgruppen lag zu dieser Zeit bei 26.3 ± 0.4 kg. Die Behandlungsgruppen bezogen identische Versuchsbuchten mit Teilspaltenboden (3.00 m × 2.08 m Beton & 3.00 m × 2.17 m Spaltenboden), die aneinander grenzten und durch eine Sichtschutzwand voneinander getrennt waren. Beide Behandlungsgruppen erhielten täglich einen halben Eimer Einstreu mit einer Mischung aus Kurzstroh und Hanfpellets. Wasser stand den Tieren mittels Nippeltränken *ad libitum* zur Verfügung. In der Bucht der Versuchsgruppe befanden sich zwei

¹ Trede & von Pein, Itzehoe, Deutschland

Ton-Schalter-Futterautomaten als einzige Futterquelle, was bei einer Gruppengröße von 4 Tieren einem Tier-Fressplatz-Verhältnis von 2:1 entspricht. Die Bucht der Kontrollgruppe enthielt zwei Ferkeltröge (Tier-Fressplatz-Verhältnis 2:1), die einmal pro Tag um acht Uhr früh mit der Menge Futter aufgefüllt wurden, die die Versuchsgruppe am Vortag an den Ton-Schalter-Futterautomaten abgerufen hatte.

2.2 Versuchsaufbau

2.2.1 Ton-Schalter-Futterautomat

Die Ton-Schalter-Futterautomaten wurden gemäß Ernst et al. (2005) übernommen (Abb. 2.1) und in leicht modifizierter Form eingesetzt. Sie bestanden jeweils aus einer Holzkammer mit den Maßen 63 cm × 40 cm × 103 cm (Breite × Tiefe × Höhe) und einer Tür, deren Öffnungsweite je nach Größe der Tiere variabel einstellbar war. Dies sollte gewährleisten, dass jeweils nur ein Tier den Automaten betritt. Im hinteren Teil der Kammer befand sich ein Trog aus Edelstahl. Vor dem Trog im Eingangsbereich war auf der rechten Seite, leicht erhöht der Schalter mit einem Durchmesser von 6 cm angebracht, den das Tier im Stehen einfach mit der Rüsselscheibe betätigen konnte. Solange der Schalter nicht benötigt wurde, verbarg ihn eine Abdeckung, damit er später für die Schweine einen neuen Reiz darstellte. Zwischen dem Eingang und dem Trog war ein Transpondersystem² Typ „Allflex“ installiert, welches mit einer Frequenz von 4 Hz einen Radius von 60 cm nach einem Responder abrief. Mit Hilfe des Transpondersystems, der individuellen Ohr-Responder der Schweine sowie eines angeschlossenen Computersystems konnten die Besuche der einzelnen Automaten durch die Tiere individuell und zeitlich genau erfasst werden.

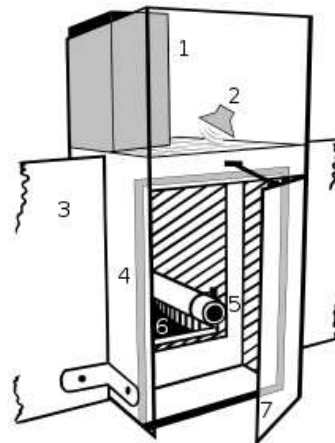


Abb. 2.1: Ton-Schalter-Futterautomat. 1: Futterreservoir, 2: Lautsprecherboxen, 3: Bucht wand, 4: Transponderantenne, 5: Schalter, 6: Trog, 7: variable Tür.

Im oberen Teil des Ton-Schalter-Futterautomaten, unzugänglich für die Tiere, waren Lautsprecherboxen für das Abspielen von individuellen Tönen und ein Futterreservoir angebracht. Die 4 verwendeten Töne basierten auf dem harmonischen Dreiklang des C-Dur-Akkordes. Sie unterschieden sich durch ihre Klangfärbungen, die durch Überlagerung des Dreiklangs mit verschiedenen Obertönen erzeugt wurden. Generiert wurden die Töne mit Hilfe der Music Station³ von Ernst et al. (2005). Die Lautstärke der Töne betrug ca. 58 dB in einer Entfernung von 1 m vor dem Ton-Schalter-Futterautomaten. Ein elastischer, in der Höhe variabler Halbring außerhalb des Automaten (nicht in Abb. 2.1 dargestellt) sollte die Störung fressender Tiere durch das Aufspringen eines anderen verhindern. Die Futterausgabe an den beiden Ton-Schalter-Futterautomaten wurden

² Texas Trading, Windach, Deutschland

³ Steinberg Media Technologies, Hamburg, Deutschland

automatisch von einem angeschlossenen Computersystem gesteuert. Die dafür notwendige Steuerungssoftware wurde im FBN, Forschungsbereich Verhaltensphysiologie entwickelt (Ernst et al., 2005). Das System wurde täglich auf seine Funktionalität hin geprüft, um die Versorgung der Schweine und den planmäßigen Ablauf des Versuches zu gewährleisten.

2.2.2 Versuchsablauf

Ein Durchgang des Versuches umfasste 16 Wochen und begann mit der Geburt der Ferkel. Die Vorversuchsperiode (Abb. 2.2 a) umfasste die 4-wöchige Säugephase und die 5-wöchige Läuferphase, in denen die Ferkel unter konventionellen Bedingungen gehalten wurden (siehe Abschnitt 2.1). In der eigentlichen Versuchsperiode von 7 Wochen durchliefen die Tiere der Versuchsgruppe ein Konditionierungsparadigma, das sich in drei aufeinander aufbauende Phasen gliederte (Abb. 2.2 b).

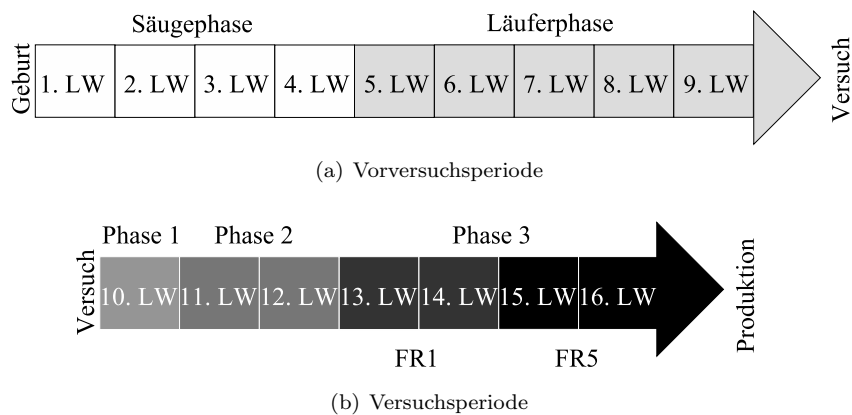


Abb. 2.2: Schematische Darstellung des Versuchsablaufes: (a) Vorversuchsperiode, (b) Versuchsperiode mit den einzelnen Versuchsphasen (1, 2, 3 FR1, 3 FR5: Erklärung siehe Text); LW = Lebenswoche.

In **Phase 1** der Versuchsperiode (1 Woche) lernten die Schweine der Versuchsgruppe die beiden Ton-Schalter-Futterautomaten als neue Futterquelle kennen. Betrat ein Tier einen Automaten wurde es über die Transponderantenne im Eingangsbereich anhand seines individuellen Ohr-Responders erkannt und registriert. Dabei wurde ihm sofort ein 10 Sekunden andauernder, individueller Ton vorgespielt (Ernst et al., 2005). Etwa drei Sekunden nach Beginn des Tones erfolgte die Ausgabe einer kleinen Portion Futter von ca. 35 g, so dass die Schweine noch während des Beginns der Futteraufnahme ihren Ton hörten. Somit stellte die Phase 1 eine klassische Konditionierung dar, wobei der Ton den neutralen Reiz darstellte, der mit dem Futter assoziiert werden sollte. In dieser ersten Lernphase konnten die Tiere die Automaten 24 h pro Tag zu jeder beliebigen Zeit aufsuchen, um Futter zu erhalten. Damit bei den Schweinen keine spontanen Präferenzen für einen der beiden Ton-Schalter-Futterautomaten auftraten und beide als Futterquelle akzeptierten wurden, teilte die Steuerungssoftware per Zufall jedem Tier einen Automaten zu, an dem es Futter abrufen konnte, also 2 Tiere pro Automaten. Die zufällige Zuteilung erfolgte stündlich neu. Am letzten Tag von Phase 1 wurde gegen 20 Uhr die Futterausgabe gestoppt, um für den Beginn der nächsten Versuchsphase eine ausreichende Motivation zu erzeugen.

In **Phase 2** der Versuchsperiode (2 Wochen) wurden die Ferkel von den Automaten individuell aufgerufen, wobei der Zeitpunkt, die Reihenfolge der Tiere sowie der Ort (Automat) zufällig verteilt waren. Das einstellbare Aufrufschema sah zwischen 28 und 33 Aufrufe pro Tier und Tag im Zeitraum von 8 bis 20 Uhr vor. Die Häufigkeit der Aufrufe pro Stunde wurde biphasisch über den Tag verteilt (Beispiel: Abb. 2.3), wobei nach jeweils zwei Stunden, mit ein bis maximal fünf Aufrufen pro Tier und Stunde, eine Stunde Pause folgte. Die Anzahl der Aufrufe pro Tag ergab sich aus Gleichung 2.1:

$$\text{Anzahl Aufrufe pro Tag} = \frac{125\% \text{ des theoretischen Futterbedarfs in g}}{\text{Futtermenge pro Portion in g}} \quad (2.1)$$

Je erfolgreichem Futterabruf, d. h. das gerufene Tier suchte innerhalb von 3 Minuten den aufrufenden Futterautomaten auf, gab der Automat eine kleine Portion Futter von ca. 50 g als Belohnung aus. Bei einer individuellen Erfolgsrate von 80% wurde 100% des Futterbedarfs eines Schweins im entsprechenden Alter gedeckt (theoretischer Futterbedarf nach Lindermayer et al. (1994)). Eine Erfolgsrate von 100% entsprach somit 125% des theoretischen Futterbedarfs. Im Gegensatz zu Phase 1 stellt die Phase 2 des Versuches eine operante Konditionierung dar.

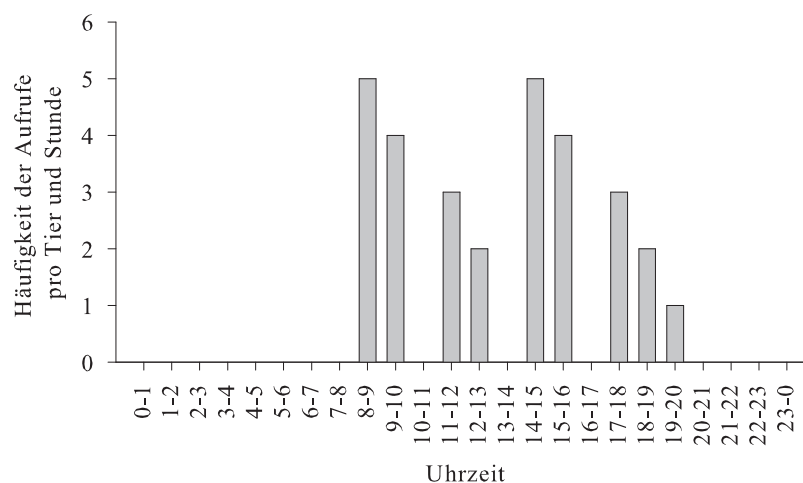


Abb. 2.3: Typisches Aufrufschema; Häufigkeit der Aufrufe pro Stunde am Beispiel: 29 Aufrufe pro Tier und Tag.

In **Phase 3** der Versuchsperiode (4 Wochen) wurde die operante Konditionierung beibehalten, aber der Aufwand für die Schweine, Futter zu erhalten, schrittweise erhöht. Der erste Teil dieser Versuchsphase dauerte 2 Wochen. Zunächst wurde die Abdeckung von dem angebrachten Schalter genommen und der Schalter in die Steuerung der Futterausgabe einbezogen. Jetzt mussten die Tiere wie vorher ihrem Aufruf richtig folgen und zusätzlich den Schalter mindestens einmal betätigen, um eine Portion Futter von ca. 65 g als Belohnung zu erhalten (**FR1**⁴). Auch hier führte eine Erfolgsrate von 80% zu einer vollständigen Deckung des Futterbedarfs. Im zweiten Teil dieser Versuchsphase, der 2 Wochen dauerte, wurde die fixed ratio auf 5 erhöht (**FR5**) und somit der Aufwand an eine Portion mit ca. 85 g Futter zu gelangen erneut gesteigert.

Aus organisatorischen Gründen und wegen des stallinternen Produktionsmanagements wiesen die 2-wöchigen Versuchsphasen (2, 3 FR1, 3 FR5) geringfügige Differenzen in ihrer Dauer auf. So dauerte die *Phase 2* 13 Tage, die *Phase 3 FR1* 15 Tage und die *Phase 3 FR5* 14 Tage.

Während der 7-wöchigen Versuchsperiode blieben die Bedingungen für die Kontrollgruppe unverändert. Es stand Wasser *ad libitum* zur Verfügung und die tägliche Futterration für alle Tiere wurde einmal um 8 Uhr in den beiden Ferkeltrögen platziert. Die tägliche Futtermenge ergab sich aus der Menge Futter, die die Versuchsgruppe am Tag zuvor aus den beiden Ton-Schalter-Futterautomaten abgerufen hatte. Nach Beendigung des Versuches am Ende der 16. Lebenswoche der Tiere wurden die Schweine beider Behandlungsgruppen mit einem durchschnittlichen Gewicht von 54.8 ± 0.4 kg ausgestellt und gelangten in den regulären Produktionsablauf zurück.

⁴ FR = fixed ratio; die Tiere erhielten nach einer festgelegten Anzahl Schalterbetätigungen eine Futterbelohnung (FR1 = 1 Mal drücken, eine Belohnung; FR5 = mindestens 5 Mal drücken, eine Belohnung)

2.3 Versuchsparameter und Datenauswertung

2.3.1 Bewältigung der Lernaufgaben

Während der Versuchsperiode (Abb. 2.2 b) waren die beiden Ton-Schalter-Futterautomaten die einzige Futterquelle für die Tiere der Versuchsgruppe. Ein angeschlossenes Computersystem kontrollierte die Futterausgabe und registrierte jeden individuellen Besuch der Automaten über das Antennen-Responder-System. In täglichen Protokolldateien wurden alle Aktionen an den Ton-Schalter-Futterautomaten sekundengenau gespeichert, z. B. das Betreten eines Automaten, die Aufrufe und die erfolgreichen Futterabrufe. Anhand dieser Protokolldateien wurde für jedes Tier der tägliche Lernerfolg sowie die mittlere tägliche Latenz⁵ berechnet. Die tägliche abgerufene Futtermenge berechnete sich während der klassischen Konditionierung in Versuchsphase 1 nach Gleichung 2.2 aus dem prozentualen Verhältnis von abgerufener Futtermenge zu theoretischem Futterbedarf. Während der operanten Konditionierung in den Versuchsphasen 2 bis 3 FR5 ergab sich der Lernerfolg aus dem prozentualen Verhältnis von Anzahl Aufrufe pro Tag zu erfolgreichen Futterabrufen pro Tag (Gleichung 2.3; Ernst et al. (2005)). Für die mittlere tägliche Latenz während der operanten Konditionierung wurde für jeden erfolgreichen Futterabruf der Zeitraum zwischen Aufruf und Futterausgabe berechnet und pro Versuchstag der arithmetische Mittelwert aus allen Latenzen für jedes Schwein gebildet (Gleichung 2.4). Für die Auswertung der Daten wurden die Versuchstage der Versuchsperiode von 1 bis 49, unabhängig von den Versuchsphasen, fortlaufend nummeriert.

$$\text{Futtermenge} = \frac{\text{Anzahl Futterabrufe} * \text{Futtermenge pro Abruf}}{\text{theoretischer Futterbedarf}} * 100\% \quad (2.2)$$

$$\text{Lernerfolg} = \frac{\text{Anzahl Futterabrufe}}{\text{Anzahl Aufrufe}} * 100\% \quad (2.3)$$

$$\text{Latenz} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Zeitpunkt Futterabruf}_i - \text{Zeitpunkt Aufruf}_i)}{\text{Anzahl Futterabrufe (n)}} \quad (2.4)$$

2.3.2 Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität

Allgemein

Die Auswirkungen des Versuchsaufbaus auf physiologischer Ebene wurden anhand der Herzschlagaktivität und daraus abgeleiteter Kenngrößen der Herzschlagvariabilität untersucht. Die Ergebnisse lassen Rückschlüsse auf die Aktivität des autonomen Nervensystems zu, welches die kardiologische Aktivität beeinflusst und direkt mit emotionalen Bewertungsmechanismen im zentralen Cortex gekoppelt ist (von Borell et al., 2007). Erfasst wurde die Herzschlagaktivität nicht invasiv mit einem System von Polar[®] 6. Ein ähnliches System wurde von Marchant-Forde et al. (2004) und Hansen (1999) bereits erfolgreich am Schwein eingesetzt. Zu dem in dieser Studie verwendeten System gehörte ein elastischer Herzfrequenzmessgurt mit zwei integrierten Elektrodenflächen und einer Sendeeinheit sowie ein Empfänger, welcher die Daten speicherte (Abb. 2.4). Der Messgurt wurde den Schweinen so angelegt, dass die Elektrodenflächen, deren Leitfähigkeit zuvor mit Ultraschall-Elektrodengel⁷ verbessert wurde, eng am Körper anlagen, wobei sich eine Elektrodenfläche auf der linken Seite des Brustkorbes direkt hinter den Vorderbeinen und die andere auf der Brust des Schweines befand (Abb. 2.4). Für die Übertragung der Daten vom Sender zum mobilen Empfänger musste sich letzterer im Umkreis von maximal 1 m vom Sender befinden.

⁵ Latenz = Zeitraum zwischen Aufruf und Futterausgabe

⁶ Polar S810i, Polar Electro Oy Finnland

⁷ Firma Heiland VET Vertriebsgesellschaft mbH, Hamburg, Deutschland

Daher wurde der Empfänger direkt am Tier angebracht, entweder mit medizinischem Plaster (im Verhaltenstest) oder in der Tasche eines zusätzlichen Schutzgurtes (in der Haltungsumwelt).

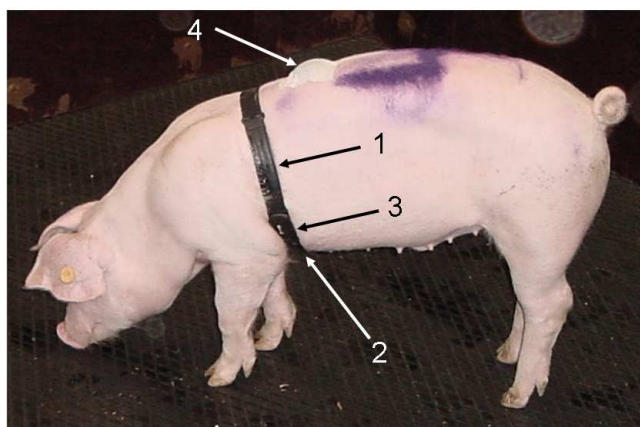


Abb. 2.4: Schwein mit Herzfrequenzmesssystem; 1 - Elektrodenfläche an der linken Seite des Brustkorbes, 2 - Elektrodenfläche auf der Brust, 3 - Sendeeinheit, 4 - Empfänger / Datenspeicher fixiert mit medizinischem Pflaster.

Das System wurde so eingestellt, dass es die Abstände zwischen den einzelnen Herzschlägen (RR-Intervalle) registrierte und fortlaufend speicherte (Tachogramm). Daraus ließen sich sowohl die Herzfrequenz als auch die Parameter der Herzschlagvariabilität berechnen. Während der Messung konnten, durch verschiedene Ursachen, Fehler in den Messreihen auftreten, durch z. B. nicht optimalen Sitz des Messgurtes, Kontaktverlust zwischen Sender und Empfänger, Überlagerung von Sendefrequenzen bei gleichzeitiger Messung mehrerer Tiere, andere technische Ursachen innerhalb des Messsystems sowie aus physiologischen Gründen. Marchant-Forde et al. (2004) identifizierte 5 Fehlertypen im aufgezeichneten Tachogramm eines Polar-Herzfrequenzmesssystems. Typ-1-Fehler sind einzelne Werte, die deutlich, d. h. mehr als 20 %, von den umgebenden als normal angesehenen Werten positiv oder negativ abweichen, dabei aber kein Vielfaches von den normalen Werten sind. Typ-2- und Typ-3-Fehler sind Doppelfehler. Hier folgt einer positiven Abweichung direkt eine negative oder umgekehrt. Typ-4-Fehler sind einzelne Werte, die um ein Vielfaches höher sind als die umgebenden als normal angesehenen Werte. Typ-5-Fehler schließlich sind mehrere Werte, die um ein Vielfaches geringer sind als die umgebenden Werte. Die Fehler in der vorliegenden Studie wurden anhand optischer Kontrolle der Daten identifiziert und mit Hilfe der mitgelieferten Software von Polar[®] ⁸ korrigiert. In Einzelfällen, wenn eine Korrektur durch das Programm nicht möglich war, wurden einzelne Fehler in EXCEL⁹ per Hand nach dem Algorithmus von Cheung (1981) korrigiert. Dabei konnten Typ-1-Fehler nur durch Mittelwertbildung korrigiert werden. Aus 10 umgebenden als normal angesehenen Werten, 5 vor dem Fehler und 5 nach dem Fehler, wurde der arithmetische Mittelwert gebildet und der Fehlerwert durch diesen ersetzt. Typ-2- und Typ-3-Fehler ließen sich durch Addition der beiden direkt aufeinander folgenden Fehlerwerte (ein positiver und ein negativer) korrigieren. Typ-4-Fehler entstehen meist, wenn das Messsystem einen oder mehrere Herzschläge nicht registriert. Die Folge ist ein doppelt oder mehrfach zu langes RR-Intervall. Die tatsächliche Länge der ursprünglichen RR-Intervalle lässt sich in solch einem Fall nicht mehr rekonstruieren. Durch die Teilung des zu langen Intervalls in entsprechend viele RR-Intervalle, erhält man aber korrigierte Werte. Diese kommen den originalen recht nahe und beeinflussen die weiteren Berechnungen der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität nicht negativ (Marchant-Forde et al., 2004). Im Gegensatz dazu entstehen Typ-5-Fehler, wenn das Messsystem statt einem RR-Intervall mehrere registriert. Die Folge sind mehrere zu kurze RR-Intervalle. Aus diesen lässt sich durch Aufsummierung das tatsächliche RR-Intervall rekonstruieren. In der vorliegenden Studie erfolgte die Fehlerkorrektur anhand von 5-Minuten-Intervallen und wurde nur

⁸ Polar Precision Performance SW, Version 4.03.04

⁹ Microsoft[®] Office Excel 2003

dann durchgeführt sowie die erhaltenen Daten weiterverwendet, wenn der prozentuale Fehleranteil weniger als 10 % betrug (Mohr et al., 2002; Langbein et al., 2004).

Die Analyse der Herzschlagvariabilität anhand der korrigierten Daten erfolgte nach 3 Methoden: der Zeitbereichsanalyse, der Frequenzbereichsanalyse und einer Analyse im nicht linearen Bereich in Form einer *recurrence quantification analysis* (RQA; von Borell et al. (2007)).

Die Zeitbereichsanalyse umfasste Parameter, die sich anhand statistischer Methoden aus dem Tachogramm berechnen ließen (Kleiger et al., 1992). Aus dem Mittelwert der RR-Intervalle über einen bestimmten Zeitabschnitt (z. B. 5 Minuten oder 10 Sekunden) konnte die mittlere Herzfrequenz ($HR = \text{heart rate}$) berechnet werden (Gleichung 2.5). Diese ist u.a. das Ergebnis des komplexen Wechselspiels zwischen Sympathikus und Vagus (Hainsworth, 1995)). Die entsprechende Standardabweichung der RR-Intervalle bildete den SDNN-Wert ($SDNN = \text{standard deviation of NN}$ ($NN = \text{normal-to-normal}$, andere Bezeichnung für RR-Intervall); Gleichung 2.6), der kurz- und langfristige Schwankungen der RR-Intervalle erfasst und sowohl auf eine Aktivierung des Sympathikus als auch auf eine Aktivierung des Vagus anspricht (Després et al., 2002). Nach der Gleichung 2.7 berechnete sich der RMSSD-Wert ($RMSSD = \text{root mean square of successive differences}$) des ausgewählten Zeitabschnitts. Dieser erfasst nur die kurzfristigen Schwankungen der RR-Intervalle und reflektiert daher nur die Aktivität des Vagus (Boissy et al., 2007b). Das Verhältnis $RMSSD/SDNN$ schließlich spiegelt die vago-sympathische Balance, d. h. mit dem Vagus als Bezugssystem, im autonomen Nervensystem wider (Langbein et al. (2004); Übersicht über die Parameter in Tab. 2.1).

$$HR = \frac{60000}{RR} \quad (2.5)$$

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (RR_i - \overline{RR})^2} \quad (2.6)$$

$$RMSSD = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(RR_i - RR_{i+1})^2}{n-1}} \quad (2.7)$$

Die Frequenzbereichsanalyse bediente sich der *fast-fourier*-Analyse, um die Datenreihe, deren komplexes Schwingungsmuster durch die rhythmischen Aktivitäten und das komplexe Wechselspiel von Sympathikus und Vagus erzeugt wurde, in harmonische Schwingungen zu zerlegen (Cerutti et al., 1995). Die niederfrequenten Schwingungsanteile (z. B. 0.04 bis 0.33 Hz für Ferkel = *low frequency* Komponente bzw. 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 (z. B. 0.33 bis 0.83 Hz für Ferkel = *high frequency* Komponente bzw. HF) korrelieren dagegen mit dem RMSSD-Wert der Zeitbereichsanalyse und können daher der vagalen Aktivität zugeordnet werden (Kautzner and Hnatkova, 1995). Mit dem Verhältnis LF/HF können schließlich Aussagen über die sympatho-vagale Balance, d. h. in diesem Fall ist der Sympathikus das Bezugssystem, im autonomen Nervensystem getroffen werden (Akselrod et al. (1981); Übersicht über die Parameter in Tab. 2.1).

Die Analyse im nicht linearen Bereich untersuchte schließlich deterministisch chaotische Strukturen in der ausgewählten Datenreihe. Mit Hilfe der RQA von Webber and Zbilut (1994) und Zbilut et al. (2002) können Aussagen über die allgemeine Flexibilität und Komplexität der Herzschlagaktivität getroffen werden. Eine Übersicht der dabei verwendeten Parameter ist in Tab. 2.1 dargestellt (Mohr et al., 2002).

Die Schweine wurden im Verlauf von 2 Wochen vor Beginn der Messungen an das Anlegen und Tragen der Messgurte gewöhnt. Während des Versuches erfolgte die Messung der Herzschlagaktivität und -variabilität regelmäßig in der normalen Haltungsumwelt und im externen Verhaltenstest.

Tab. 2.1: Übersicht über die verwendeten Parameter der Herzschlagaktivität und -variabilität.

| Analyse | Parameter | Beschreibung | physiologische Bedeutung |
|------------------------------|----------------|--|--|
| Zeitbereich | HR | mittlere Herzfrequenz | gemeinsame Aktivität von Sympathikus und Vagus |
| | SDNN | Standardabweichung der RR-Intervalle | gemeinsame Aktivität von Sympathikus und Vagus |
| | RMSSD | Wurzel des Mittelwerts der quadrierten Differenzen aufeinander folgender RR-Intervalle | Aktivität des Vagus |
| | RMSSD/SDNN | Verhältnis von RMSSD zu SDNN | vago-sympathische Balance |
| Frequenzbereich | LF | niedrigerer Frequenzbereich (0.04 bis 0.33 Hz) | gemeinsame Aktivität von Sympathikus und Vagus |
| | HF LF/HF | hoherer Frequenzbereich (0.33 bis 0.83 Hz) Verhältnis von LF zu HF | Aktivität des Vagus sympatho-vagale Balance |
| nicht linearer Bereich (RQA) | %rec | prozentualer Anteil von recurrence-Punkten im Plot = Vektor-Wiederholung im multidimensionalen Raum | Flexibilität des Systems (quantitative Aussage) |
| | %det | prozentualer Anteil von recurrence-Punkten, die aufwärts gerichtete, diagonale Linien bilden (recurrence-Punkte in aufeinander folgenden Sequenzen) | Flexibilität des Systems (qualitative Aussage) |
| | det/rec | Verhältnis von %det zu %rec | Stabilität des Systems |
| | Entropie | Shannon-Entropie der Längenverteilung der Linien | Komplexität des Systems |
| | Maxline (MaxL) | längstes diagonales Liniensegment aufeinander folgender recurrence-Punkte im Plot | Anteil von Chaos bzw. Zufall im System |
| | trend | Drift der recurrence-Punkte weg von der zentralen diagonalen Linie im Plot | Stationarität des Systems |



Abb. 2.5: Zeitpunkte der Messungen der Herzschlagaktivität im allgemeinen Versuchsablauf; 1 Pfeil entspricht einer Messung von 2 Tagen \times 3 h, LW = Lebenswoche.

In der normalen Haltungsumwelt wurde die Herzschlagaktivität zum einen in der Läuferphase kurz vor Beginn der Versuchsperiode erfasst sowie während der Versuchsperiode (Abb. 2.5) an jeweils 2 aufeinander folgenden Tagen für je 3 Stunden während der ersten Hauptaktivitätszeit zwischen 8 Uhr und 11 Uhr. Während der Versuchsperiode wurden die Messungen zu den Zeitpunkten Anfang (Tag 1 und 2), Mitte (Tag 7 und 8) und Ende (Tag 13 und 14) jeder Versuchsphase vorgenommen. In der Versuchsphase 1 waren nur die Zeitpunkte Anfang und Ende (Tag 6 und 7) möglich, da diese Phase nur 1 Woche dauerte.

Die Messung der Herzschlagaktivität erfolgte gleichzeitig an allen Tieren in der gewohnten Haltungsumwelt. Um eine annähernd störungsfreie Messung zu gewährleisten und um das Messsystem vor Manipulationen und Verunreinigungen zu schützen, wurde über den Messgurt ein zusätzlicher, speziell gefertigter Schutzgurt¹⁰ angelegt mit den Maßen 1 m \times 7 cm (Länge \times Breite; Abb. 2.6) und der Datenspeicher in einer Tasche am Gurt untergebracht. Dennoch konnten bisweilen Störungen und Ausfälle im Messsystem auftreten, z. B. durch Kontaktverlust zwischen Sender und Empfänger, Überlagerung von Sendefrequenzen oder Verrutschen des Messgurtes. Um den Datenverlust möglichst gering zu halten, wurde daher während jeder 3-stündigen Messung nach 1.5 h die Funktionalität des Messsystems geprüft und ggf. die korrekte Messgurtlage und/oder der Kontakt zwischen Sender und Empfänger wiederhergestellt.



Abb. 2.6: Schwein mit Herzfrequenzmesssystem und Schutzgurt darüber in der normalen Haltungsumwelt.

Parallel zur Messung der Herzschlagaktivität wurden die Aktivitäten der Tiere mit einer Kamera auf VHS-Videokassetten aufgezeichnet. An der Bucht jeder Behandlungsgruppe (Versuch und Kontrolle) wurde in 3.80 m Höhe eine Kamera angebracht, welche die gesamte Bucht erfasste und an einen Videorekorder angeschlossen war. Die Videorekorder verfügten über *time-stamp*-Technik und wurden mit der internen Uhr des Empfängers/Datenspeichers des Herzfrequenzmesssystems synchronisiert, damit die Daten der Herzaktivität entsprechenden Verhaltensweisen zugeordnet werden konnten.

¹⁰ Lederwarenfachgeschäft & Schuhmacherei Peter Krause, Lenzen, Deutschland

Kurzfristige Veränderungen — Die Fütterungssituation

Für die Untersuchung der akuten Lernsituation wurde die direkte, physiologische Reaktion der Schweine auf den Stimulus „Futter“ analysiert. In der Läuferphase repräsentierte der Stimulus den Beginn der Futteraufnahme. Mit der Trennung in Versuchs- und Kontrollgruppe und über die Versuchsphasen änderte sich die Zuordnung des Stimulus „Futter“. Für die Versuchsgruppe definierte der Stimulus in der Phase 1 das Abrufen von Futter an einem Ton-Schalter-Futterautomaten. Für die restlichen Phasen 2 bis 3 FR5 wurde das individuell erlernte Tonsignal, also der Aufruf durch den Ton-Schalter-Futterautomaten als Stimulus definiert. Bei der Kontrollgruppe diente im gesamten Verlauf der Versuchsperiode die Platzierung des Futters im Trog als Stimulus „Futter“. In der Läuferphase vor Beginn des Versuches hatten die Tiere beider Behandlungsgruppen *ad libitum* Zugang zum Futter, so dass die Abschnitte der Futteraufnahme anhand der Videoaufzeichnungen bestimmt wurden. Während des Versuches wurden bei den Tieren der Versuchsgruppe anhand der Protokolldateien der Futterautomaten (Abschnitt 3.1) diejenigen Zeitpunkte während der Herzfrequenzmessung heraus gesucht, an denen die Schweine Futter abriefen (Phase 1) bzw. individuell aufgerufen wurden (in Phase 2 bis 3 FR5) und wann das Futter erfolgreich ausgegeben wurde. Aus der Differenz zwischen dem Zeitpunkt des Aufrufs und dem Zeitpunkt der Futterausgabe ergab sich die Latenz, d. h. die Dauer bis zur Futterausgabe bzw. bis zur erfolgreichen Bewältigung der Aufgabe. Pro Tier und Tag waren das zwischen 8 Uhr und 11 Uhr insgesamt 9 Aufrufe (Versuchsphase 2 bis 3 FR5), d. h. 18 Aufrufe für jeden Messabschnitt (2 aufeinander folgende Tage á 3 h).

Es ist bekannt, dass die Regulation der Herzschlagaktivität durch das autonome Nervensystem sehr rasch erfolgt (Sympathikus: 5 - 30 Sekunden, Vagus: von einem Herzschlag auf den nächsten; Hainsworth (1995)). Daher sollte für eine genaue Erfassung der physiologischen Reaktion die Analyse im kleinskaligen Bereich erfolgen (10-Sekunden-Abschnitte) und nicht wie von der Task Force empfohlen in Intervallen von mindestens 5 Minuten oder anhand von 24-Stunden-Messungen (Camm et al., 1996). Gewählt wurde ein 2-Minuten-Abschnitt, wobei 1 Minute vor dem Stimulus lag (Ausgangssituation) und 1 Minute nach dem Stimulus (Reaktionssituation). Es ist bekannt, dass unterschiedliche Aktivitäten (aktiv vs. inaktiv) einen Einfluss auf die Herzaktivität haben (Pagani et al., 1995). Daher wurden mit Hilfe der Videoaufzeichnungen den entsprechenden Zeitabschnitten (1 Minute vor und 1 Minute nach dem Stimulus) vordefinierte Verhaltenskategorien zugeordnet (Tab. 2.2).

Tab. 2.2: Übersicht über die vordefinierten Verhaltenskategorien 1 Minute vor und 1 Minute nach dem Stimulus „Futter“.

| Verhaltenskategorie | Beschreibung |
|----------------------------|--|
| aktiv | allgemeine Verhaltensaktivitäten in der Bucht, z. B. Lokomotion, Stehen, Trinken |
| inaktiv | Liegen oder Schlafen auf dem Bauch oder der Seite |
| fressen | Futteraufnahme oder allgemeine Aktivität am/im Futterautomaten bzw. am Futtertrog |

Die Verhaltenskategorien aktiv, inaktiv und fressen wurden nur dann vergeben, wenn das entsprechende Tier dieses Verhalten im gesamten Zeitabschnitt von einer Minute (einmal vor und einmal nach dem Stimulus) zeigte. Fand ein Verhaltenswechsel, wie Hinlegen oder Aufstehen statt, wurde der entsprechende 2-Minuten-Abschnitt von der weiteren Analyse ausgeschlossen. In der Versuchsgruppe wurde die Reaktion des gerufenen Tieres auf das individuelle Tonsignal sowie weitere Gegebenheiten und Ereignisse erfasst, die Auswirkungen auf die Herzschlagaktivität haben könnten (Tab. 2.3).

Insgesamt ergab sich aus den so erfassten Aufrufzeitpunkten, Latenzen, Verhaltenskategorien und Ereignissen in der Versuchsgruppe eine allgemeine Übersichtstabelle. Daraus wurden gezielt Ereignisse heraus gesucht, die folgenden Kriterien entsprachen:

- Verhalten in der Minute vor Aufruf/Abruf = aktiv oder inaktiv
- Verhalten in der Minute nach Aufruf/Abruf = fressen
- Reaktion auf den Aufruf = sofort
- Zugang zum Automaten = frei
- Wahl des Automaten = richtig
- Dauer bis zur erfolgreichen Futterausgabe ≤ 10 Sekunden
- Störungen während der Futteraufnahme = nein

Es wurde eine solche gezielte Auswahl getroffen, um vermeidbare, zusätzliche Einflüsse auf die Herzschlagaktivität und -variabilität auszuschließen, die die spätere Interpretation der Ergebnisse erschweren. Die sofortige Reaktion auf das individuelle Tonsignal sollte eine vorhandene Futter-Motivation seitens der Tiere sicherstellen. Zudem trat die Vermutung auf, dass es durch Ereignisse, wie z. B. einem blockierten Zugang zum Futterautomaten, einer falschen Automatenwahl, Störungen durch andere Gruppenmitglieder oder einer zu langen Zeit bis zur Futterausgabe, zu Frust- und Stressreaktionen bei den Tieren kommen kann.

Tab. 2.3: Übersicht über die Reaktionen der Schweine in der Versuchsgruppe auf das individuelle Tonsignal und weitere Ereignisse während der Futteraufnahme in der Minute nach dem Aufruf.

| Ereignis | Kategorie | Beschreibung |
|--------------------------------------|-----------|--|
| Reaktion auf das Tonsignal | sofort | augenblickliche Verhaltensreaktion auf das Tonsignal (1 - 3 Sekunden), z. B. Aufspringen, ruckhaftes Aufrichten oder Herumdrehen des Kopfes |
| | verzögert | keine sofortige Verhaltensreaktion, aber aktive Bewegung zum Futterautomaten innerhalb der Minute nach Aufruf |
| | keine | keine sichtbare Verhaltensreaktion auf das Tonsignal, keine Bewegung zum Futterautomaten und kein Futterabruf innerhalb der 1 Minute nach Aufruf |
| Zugang zum Automaten | frei | der aufrufende Automat ist frei zugänglich, d. h. kein anderes Tier versperrt den Zugang |
| | besetzt | der Zugang zum aufrufenden Automaten wird durch ein anderes Gruppenmitglied versperrt, z. B. durch Futteraufnahme oder andere Aktivitäten im und direkt am Automaten |
| Wahl des Automaten | richtig | aufgerufenes Tier begibt sich direkt zum aufrufenden Automaten |
| | falsch | aufgerufenes Tier begibt sich als erstes zum anderen, nicht aufrufenden Automaten |
| Störungen während der Futteraufnahme | ja | während der Futteraufnahme wird das gerufene Tier von einem anderen Gruppenmitglied verdrängt oder gestört, z. B. durch Verdrängungsversuche |
| | nein | das gerufene Tier ist während der Futteraufnahme ungestört (keine Verdrängung oder Verdrängungsversuche) |

Zu den auf diese Art herausgefilterten Aufrufen/Abrufen wurden die entsprechenden Sequenzen aus der Herzaktivitätsmessung der in Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Fehlerkorrektur unterzogen. Dabei verminderte sich die Zahl der potentiell für die Analyse geeigneten Daten erneut durch z. B. zu hohe Fehleranteile, fehlende Daten wegen Überschreitung der Speicherkapazität des Datenspeichers oder Ausfall des Messsystems. Für die weitere Analyse wurden pro Messabschnitt (2 aufeinander folgende Tage á 3 h) 2 Aufrufe mit der niedrigsten Fehlerquote genommen, 1 Aufruf, wo die Schweine in der 1 Minute vor dem Stimulus aktiv waren und 1 Aufruf wo sie vor dem Stimulus inaktiv waren. Hinzu kamen die parallelen Zeitabschnitte der übrigen Gruppenmitglieder (Fehlerquote < 10%) für einen späteren Vergleich zwischen den physiologischen Reaktionen von aufgerufenen und nicht aufgerufenen Tieren.

In der Kontrollgruppe war die Vorgehensweise ähnlich. Hier standen jedoch pro Messabschnitt (2 aufeinander folgende Tage) nur 2 Fütterungsereignisse zur Verfügung, da die Tiere dieser Behandlungsgruppe nur einmal pro Tag gefüttert wurden. Der genaue Zeitpunkt der Fütterung wurde anhand der Videoaufnahmen bestimmt, wobei die Platzierung des Futters im Trog als Stimulus „Futter“ angesehen wurde. Dabei erfolgte gleichzeitig die Zuordnung zu den Verhaltenskategorien nach Tab. 2.2 in der Minute vor Platzierung des Futters im Trog. Wie bei der Versuchsgruppe wurden diejenigen Ereignisse heraus gesucht, an denen die Tiere in der Minute vor dem Stimulus aktiv oder inaktiv waren. Dadurch, dass der Stimulus allen Tiere der Behandlungsgruppe gleichzeitig galt und das Futter frei verfügbar war, wurde auf eine weitere Klassifizierung und Auswahl nach Tab. 2.3 verzichtet. Die Fehlerkorrektur der entsprechenden Herzaktivitäts-Sequenzen wurde wie bereits beschrieben durchgeführt.

Die so erhaltenen 2-Minuten-Abschnitte von Versuchsgruppe (aufgerufene und nicht aufgerufene Tiere) und Kontrollgruppe wurden anhand von 10-Sekunden-Intervallen analysiert (-60 bis +60 Sekunden). Durch die geringe Anzahl von Datenpunkten innerhalb eines solchen Intervalls empfahl sich nur eine Zeitbereichs-Analyse (Tab. 2.1). Diese wurde in der Umgebung von EXCEL durchgeführt. Die Ergebnisse aus der Läuferphase vor Beginn der Versuchsperiode wurden als Ausgangswert bezeichnet und der arithmetische Mittelwert über die Zeitintervalle -60 bis -20 Sekunden vor dem Stimulus „Futter“ als Basiswert für die Reaktion auf den Stimulus. Anhand des Basiswertes wurde die relative Reaktion auf den Stimulus berechnet in Form von Basisdifferenzen (Differenz der Zeitintervalle -10 bis +60 Sekunden zum Basiswert).

Längerfristige Veränderungen — Die Basalwerte

Die Basalwerte der Schweine wurden bestimmt während die Tiere ruhig und ungestört über eine längere Zeit lagen bzw. schliefen und dienten der Untersuchung längerfristiger Veränderungen der grundlegenden Aktivität des autonomen Nervensystems außerhalb der akuten Lernsituation und ohne zusätzliche Beeinflussung durch physische Aktivitäten (z. B. Lokomotion, Aggressionen, Futteraufnahme, etc).

Anhand der Videoaufzeichnungen wurden Zeitabschnitte heraus gesucht, in denen die Tiere ruhig und ungestört mindestens 10 Minuten lagen. Die entsprechenden Abschnitte der Herzaktivitätsmessung wurden der in Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Fehlerkorrektur unterzogen. Daraus wurden pro Tier und Messzeitpunkt (2 Tage á 3 h) ein Abschnitt entnommen, der mindestens 8 Minuten und maximal 20 Minuten lang war, wobei, wenn möglich, die ersten 5 Minuten direkt nach dem Hinlegen des Tieres nicht verwendet wurden. Mit Hilfe des Programmes MULTIDAT¹¹ wurde die komplexe Auswertung der unterschiedlich langen Messabschnitte im Zeit-, Frequenz- und nicht linearen Bereich durchgeführt (Mohr et al., 2002). Dabei erlaubte die Mittelwertbildung innerhalb eines gleitenden 5-Minuten-Fensters mit einer Fenster-Verschiebung von 2.5 Minuten den Vergleich unterschiedlich langer Datenabschnitte, womit den Empfehlungen der Task Force (Camm et al., 1996) von vergleichbaren Messabschnitten von mindestens 5 Minuten entsprochen wurde. Für die Frequenzbereichsanalyse wurde die Untergrenze der LF-Komponente, welche vom arteriellen Blutdruck beeinflusst wird, nach Camm et al. (1996) auf 0.04 Hz festgelegt. Die Grenzen der HF-Komponente (die Untergrenze entspricht der Obergrenze der LF-

¹¹ © by Mohr, 1997

Komponente), werden von der Atemfrequenz bestimmt und wurden nach von Borell et al. (2007) auf 0.33 bis 0.83 Hz festgelegt. Für die Analyse der Daten im nicht linearen Bereich integrierte das Programm MULTIDAT¹¹ die RQA-Software von C. L. Webber (Webber and Zbilut (1994); <http://homepages.luc.edu/~cwebber/>). Die Einstellungen für die Analyse waren dabei festgelegt auf:

- delay = 1
- embedding dimension = 10
- norm = 3 (euklidisch)
- first point & last point = richtet sich nach den gewählten Abschnitten; das Programm versucht eine Anzahl von Werten zu erfassen, die möglichst genau 5 Minuten entsprechen
- data shift = 150
- number of epochs = abhängig von der Gesamtlänge des entsprechenden Abschnitts
- randomization = no
- rescaling = 2 (mean distance)
- radius = 30
- line = 3

Ergebnis der komplexen Datenauswertung waren 13 Parameter (Tab. 2.1) deren Werte als Absolutwerte bezeichnet wurden. Zusätzlich wurden Differenzwerte gebildet zwischen sämtlichen Messzeitpunkten während der Versuchsperiode und dem Messzeitpunkt vor Beginn der Versuchsperiode. Letzterer fand zu einem Zeitpunkt statt, wo die bisherigen Haltungsbedingungen für beide Behandlungsgruppen gleich gewesen waren. Daher wurden diese physiologischen Werte als Ausgangswerte bezeichnet und die Differenzwerte zeigten die relativen physiologischen Veränderungen nach dem Wechsel der Haltungsumwelt.

2.3.3 Verhaltenstest

Verhalten

Die Verhaltensreaktivität der Tiere wurde in einem externen, standardisierten Verhaltenstest untersucht (Puppe et al., 2007). Die Testarena befand sich in einem separaten, schalldämmten Raum und maß 2.80 m × 2.80 m × 1.24 m (Länge × Breite × Höhe). Der Verhaltenstest dauerte insgesamt 10 Minuten und erfolgte in Form eines wiederholten, kombinierten *open field / novel object* Tests. Die Testarena repräsentierte dabei das *open field* und nach 5 Minuten Testzeit wurde ein für die Schweine unbekanntes Objekt (*novel object*) an einem Stahlseil langsam von der Decke des Raumes in die Mitte der Testarena bis auf eine Höhe von ca. 30 cm herab gelassen, wo es bis zum Ende des Tests nach weiteren 5 Minuten verblieb. Bei den unbekanntem Objekten handelte es sich um Spielzeug aus dem Heimtierfachgeschäft bzw. einen handelsüblichen Pylonen. Diese bestanden jeweils aus verschiedenen Materialien (Holz, Plüsch, Kunststoff) und waren maximal 20 bis 26 cm groß. Den Test absolvierten die Schweine beider Behandlungsgruppen einzeln nacheinander in zufälliger Reihenfolge zwischen 7 und 10 Uhr, wobei die Testarena nach jedem Test vom Kot grob gesäubert wurde. Das Verhalten der Tiere wurde von einer während des Tests anwesenden Person durch kontinuierliche Direktbeobachtung (*focal sampling, continuous recording*) und direkte Dateneingabe am Computer über das Programm Observer[®] 12 erfasst. In Tab. 2.4 sind die beobachteten Verhaltensweisen (Ethogramm) mit einer kurzen Definition dargestellt.

In dieser Form wurde der Verhaltenstest insgesamt drei Mal zu verschiedenen Zeitpunkten des Versuches wiederholt. Der erste Test fand in der 9. Lebenswoche der Ferkel, drei Tage vor Beginn der Versuchsperiode, statt (Abb. 2.7). Die Ferkel wurden mit Hilfe eines Rollwagens vom Flatdeck in die Testarena gebracht und am Eingang der Arena vorsichtig abgesetzt. Vorversuche hatten ergeben, dass der Weg zu Fuß mit dem notwendigen Einsatz von einem Treibebrett zu starken,

Tab. 2.4: Ethogramm: Übersicht über die beobachteten Verhaltensweisen im *open field / novel object* Test mit einer kurzen Beschreibung.

| Verhaltensweise | Definition |
|------------------------|---|
| Lokomotion | aktive Fortbewegung mit mindestens 2 Schritten in eine beliebige Richtung und in beliebiger Geschwindigkeit |
| Stehen | keine aktive Fortbewegung, Stehen auf mindestens 3 Gliedmaßen, Bewegung einzelner Gliedmaßen möglich |
| Exkretion | Absetzen von Kot und/oder Urin |
| Wandkontakt | aktive Exploration und/oder Manipulation der Arenabegrenzung mit der Rüsselscheibe |
| Fluchtversuch | Versuch die Arena durch einen Sprung an oder über die Arenabegrenzung zu verlassen |
| Liegen | keine aktive Fortbewegung, Berührung des Bodens mit dem Bauch oder der Körperseite |
| Objektannäherung | aktive und zielgerichtete Bewegung auf das <i>novel object</i> zu |
| Objektfixierung | keine aktive Bewegung (Erstarrung), Orientierung zum <i>novel object</i> (Anstarren) |
| Objektschreck | reflexartiges Zusammenzucken, Springen oder Zurückweichen in Bezug auf das <i>novel object</i> |
| Objektkontakt | aktive Exploration und/oder Manipulation des <i>novel objects</i> mit Rüsselscheibe und/oder Schnauze |
| keine Vokalisation | keine aktive Lautäußerungen, stets in Kombination mit einer Verhaltensaktivität |
| Grunzen | aktive Lautäußerung, < 1 kHz, stets in Kombination mit einer Verhaltensaktivität |
| Schreien | aktive Lautäußerung, > 1 kHz, stets in Kombination mit einer Verhaltensaktivität |

einige Zeit anhaltenden Auslenkungen der Herzfrequenz führte, was als Anzeichen von starkem Disstress gedeutet wurde. Der Einsatz des Rollwagens zeigte keine solchen Auswirkungen. Da die Herzaktivität ein weiterer wichtiger Parameter im Verhaltenstest war, wurde der Einsatz des Rollwagens vorgezogen. Die zweite und dritte Wiederholung des *open field / novel object* Tests fand während der Versuchsperiode statt. Zum einen in der 12. Lebenswoche am Ende von Phase 2 und zum anderen in der 16. Lebenswoche am Ende von Phase 3 FR5 kurz vor Ende der Versuchsperiode (Abb. 2.7). Dabei mussten die Schweine den Weg zur Testarena (ca. 25 m) zu Fuß zurücklegen. Der Einsatz des Rollwagens war zu dieser Zeit nicht mehr notwendig, da die Tiere den relativ kurzen Weg ruhig und ohne größeren Einsatz des Treibebrettes, also weitestgehend stressfrei, zurücklegten. Der Test startete jeweils mit dem Schließen der Arenatür. In jeder Wiederholung des Verhaltenstestes wurde den Tieren ein anderes *novel object* präsentiert (Test 1: Holzspielzeug, Test 2: Plüschstern, Test 3: Pylon).

Die Auswertung jedes einzelnen Verhaltenstestes erfolgte zunächst über das Programm Observer[®]. Ergebnis war eine Übersicht über alle aufgetretenen Verhaltensweisen in den Größen: Häufig-

¹² Version 3.0, Noldus Information Technology, Wageningen, NL

keit¹³, Latenz¹⁴, Gesamtdauer¹⁵ und mittlere Dauer¹⁶, für jedes Tier und jede Testwiederholung. Die verschiedenen Formen der Vokalisation - Grunzen, Schreien, keine Vokalisation - wurden immer in Kombination mit einer Verhaltensaktivität erfasst - z. B. Lokomotion-Grunzen, Stehen-ohne, Wandkontakt-Schreien - dennoch wurden die Verhaltensaktivitäten und die Vokalisationen getrennt betrachtet und ausgewertet. Bei der Auswertung wurde nicht zwischen *open field* Test und *novel object* Test unterschieden, sondern die 10-minütige Testdauer als Ganzes betrachtet. Die Ergebnisse lagen schließlich in Form von Absolutwerten für alle 3 Testwiederholungen vor. Da der erste Verhaltenstest vor der Versuchsperiode stattfand, wo die Haltungsbedingungen bis dahin für beide Behandlungsgruppen gleich gewesen waren, wurden die Ergebnisse dieses Tests als Ausgangswerte bezeichnet. Es ist erwiesen, dass die Wiederholung eines solchen Tests eine Habituation an die Testbedingungen zur Folge hat (Hayne, 2003; Forkman et al., 2007). Mit der Berechnung von Differenzwerten der 2. und 3. Testwiederholung zum ersten *open field* / *novel object* Test konnten somit ggf. Unterschiede in der Habituation bei den beiden Behandlungsgruppen als Folge des Versuchsaufbaus nachgewiesen und gleichzeitig bereits vor Beginn der Versuchsperiode vorhandene Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen ausgeglichen werden.



Abb. 2.7: Zeitpunkte der Wiederholungen des *open field* / *novel object* Tests im allgemeinen Versuchsablauf (= Pfeile); LW = Lebenswoche.

Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität

Während der externen Verhaltenstests wurde auch die Herzschlagaktivität der Schweine gemessen. Vor Beginn des Verhaltenstests wurde die interne Uhr des Datenspeichers mit der Systemzeit des Computers, an dem die Verhaltensbeobachtungen eingegeben wurden, synchronisiert. Das Anlegen des Messgurtes erfolgte in der Haltungsumwelt, die Messung wurde hingegen in der Testarena durch Aktivierung des Datenspeichers gestartet. Dies geschah, da beim Start der Messung geprüft werden konnte, ob die Datenübertragung zwischen Sender und Empfänger optimal funktionierte oder ob der Messgurt während des Transportes zur Testarena verrutscht war und der Sitz korrigiert werden musste. Da die Tiere den Verhaltenstest einzeln durchliefen, konnte auf das Anlegen des Schutzgurtes verzichtet werden. Der Datenspeicher wurde mit medizinischem Pflaster auf dem Rücken der Schweine angebracht (Abb. 2.4) und behinderte diese nicht. Mit dem Schließen der Tür zur Testarena startete die Verhaltensbeobachtung mit Hilfe des Programms Observer[®] und dauerte 10 Minuten. In den Protokollen, die das Programm aufzeichnete, wurde die genaue Start- und Endzeit jedes Verhaltenstest festgehalten. Anhand derer wurden die entsprechenden 10 Minuten aus der parallelen Herzaktivitätsmessung heraus gesucht und der bereits beschriebenen Fehlerkorrektur unterzogen. Die Analyse der Herzschlagaktivität und -variabilität erfolgte nach den Empfehlungen der Task Force (Camm et al., 1996) anhand von 5-Minuten-Abschnitten. Dazu wurden die 10 Minuten der Herzaktivitätsmessung in zwei 5-Minuten-Abschnitte getrennt, wobei sich der erste 5-Minuten-Abschnitt mit dem Abschnitt *open field* und der zweite mit dem Abschnitt *novel object* des kombinierten Verhaltenstests deckte. Die Analyse der Abschnitte wurde mit Hilfe des Programms MULTIDAT im Zeit-, Frequenz- und nicht linearer Bereich durchgeführt. Die Einstellungen im Programm wurden dahingehend angepasst, dass ein einzelnes 5-Minuten-Fenster

¹³ Anzahl des Auftretens einer Verhaltensweise

¹⁴ Zeit bis zum ersten Auftreten des Verhaltens

¹⁵ Aufsummierte Zeit, die eine Verhaltensweise aufgetreten ist

¹⁶ Verhältnis von Gesamtdauer zu Häufigkeit

ohne Fenster-Verschiebung analysiert wurde.

2.4 Statistik

2.4.1 Begriffsdefinitionen

Im Folgenden werden verschiedene Begrifflichkeiten verwendet, die an dieser Stelle für eine bessere Verständlichkeit zusammengefasst werden sollen.

Versuchsperiode Die Versuchsperiode umfasste die 10. bis 16. Lebenswoche der Versuchstiere, wo diese sich in ihrer Behandlung unterschieden.

Behandlungsgruppe Die Versuchstiere waren 2 Gruppen zugeteilt, die sich mit Beginn der Versuchsperiode in ihrer Behandlung voneinander unterschieden, die Versuchsgruppe und die Kontrollgruppe (nähere Beschreibung in Abschnitt 2.2.2).

Ausgangswert Ausgangswerte waren grundsätzlich diejenigen Werte, die in der Läuferphase, also vor Beginn der Versuchsperiode erfasst wurden. Bis dahin waren die Haltungsbedingungen für beide Behandlungsgruppen gleich.

Differenzwert Traten aus unbestimmten Gründen dennoch Unterschiede in den Ausgangswerten zwischen den Behandlungsgruppen auf, wurden Differenzwerte gebildet, zwischen den Werten während der Versuchsperiode und den Ausgangswerten von jedem einzelnen Tier. Damit zeigen die Differenzwerte die relativen Veränderungen, die durch den Versuchsaufbau verursacht wurden, in Bezug auf den Ausgangszustand direkt vor Beginn der Versuchsperiode.

Absolutwert Der Begriff Absolutwert bezieht sich auf alle Werte, die keine Differenzwerte sind.

Versuchsphase Die Versuchsperiode gliederte sich in 4 Versuchsphasen: Phase 1, Phase 2, Phase 3 FR1 und Phase 3 FR5. In den Versuchsphasen wurden die Schweine der Versuchsgruppe mit verschiedenen Problemen bzw. Aufgaben konfrontiert, während die Bedingungen für die Kontrollgruppe konstant blieben.

Zeitpunkt In den einzelnen Versuchsphasen wurden einige Parameter zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen: Anfang, Mitte und Ende. Der Anfang umfasste die ersten beiden Tage einer Versuchsphase (Tag 1 und 2), die Mitte die mittleren beiden (Tag 7 und 8) und das Ende die letzten beiden Tage einer Versuchsphase ((Tag 7/8 bzw.) Tag 13/14 bzw. 14/15). Diese Zeitpunkte traten in allen Versuchsphasen, außer in Phase 1, auf. Diese Phase dauerte nur 7 Tage und die verwendeten Zeitpunkte waren Anfang und Ende.

Stimulus „Futter“ Ein Stimulus ist grundsätzlich ein externes Ereignis, das eine Verhaltens- und/oder physiologische Reaktion bei Organismen auslöst. In der vorliegenden Studie stellte das Futter in verschiedener Weise den Stimulus für die Schweine der Behandlungsgruppen dar. Vor Beginn der Versuchsperiode hatten die Schweine beider Behandlungsgruppen *ad libitum* Zugang zu Futter. Als Stimulus wurde zu dieser Zeit der Beginn der Futteraufnahme angesehen. Während der Versuchsperiode wurden beide Behandlungsgruppen restriktiv gefüttert. Für die Versuchsgruppe stellte der Stimulus das Abrufen von Futter an einem Ton-Schalter-Futterautomaten in der Phase 1 und den individuellen Aufruf durch einen Futterautomaten während der operanten Phasen 2 bis 3 FR5 dar. In der Kontrollgruppe war die Platzierung des Futters im Trog während der gesamten Versuchsperiode der Stimulus.

Zeitintervall Für die genaue Untersuchung der physiologischen Reaktion auf den Stimulus „Futter“ wurde ein 2-Minuten-Fenster verwendet, wobei sich 1 Minute vor dem Stimulus und 1 Minute danach befand. Die Analyse wurde anhand von 10-Sekunden-Intervallen, den Zeitintervallen, durchgeführt: -60 bis -10 Sekunden vor dem Stimulus und +10 bis +60 Sekunden nach dem Stimulus.

Basiswert Die Zeit direkt vor dem Stimulus war die Basis, von der aus die anschließende Reaktion auf den Stimulus erfolgte. Der arithmetische Mittelwert über die Zeitintervalle -60 bis -20 Sekunden stellte den Basiswert dar. Das Zeitintervall -10 Sekunden wurde nicht mit eingeschlossen, damit es als Referenz zum Basiswert dienen konnte.

Basisdifferenz Um individuelle Unterschiede im Basiswert und Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen auszugleichen, wurden Differenzwerte zwischen den Zeitintervallen -10 bis +60 Sekunden und dem Basiswert gebildet. Diese Basisdifferenzen zeigen die relative physiologische Reaktion auf den Stimulus „Futter“ in Bezug auf den Basiszustand direkt vor dem Stimulus.

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

2.4.2 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung der Daten wurde das Programm SAS®¹⁷ verwendet. Grundlage war eine multifaktorielle Varianzanalyse mit wiederholten Messungen (*repeated measurements ANOVA*) in der Umgebung eines gemischten Modells (*mixed model, proc mixed*). In die Analyse gingen 23 Versuchstiere¹⁸ und 24 Kontrolltiere aus 6 Durchgängen ein. Da pro Messwiederholung von jedem Tier 1 Datensatz verwendet wurde, konnte das Tier als wiederholter Faktor in das Modell einbezogen werden. Als zufälliger Faktor wurde die Sau im Durchgang geschachtelt, da i. d. R. in jedem Durchgang andere Sauen verwendet wurden. Der Durchgang wurde zusätzlich als fixer Faktor herangezogen. Die übrigen verwendeten fixen Faktoren und Faktorkombinationen hingen von der Fragestellung und den erfassten Daten ab. Der Durchgang wurde nie in Faktorkombinationen mit einbezogen, da bei einigen Parametern die Kombination von Durchgang und z. B. Behandlungsgruppe oder Versuchsphase aufgrund fehlender Daten nicht möglich war.

Ethologie - Lernbewältigung In der Versuchsgruppe wurden die Versuchsphase 1 (klassische Konditionierung; Versuchstag 1 bis 7) und die Versuchsphasen 2 bis 3 FR 5 (operante Konditionierung; Versuchstag 8 bis 49) getrennt betrachtet. Während bei der klassischen Konditionierung das prozentuale Verhältnis von abgerufener Futtermenge zu theoretischem Futterbedarf vorlag, wurden bei der operanten Konditionierung die Entwicklung von Lernerfolg und Latenz analysiert. Neben dem Durchgang ging der Versuchstag als fixer Faktor in das gemischte Modell ein. Auf die Versuchsphase als fixen Faktor wurde aufgrund der unterschiedlichen Längen der Versuchsphasen 2, 3 FR1 und 3 FR5 verzichtet.

Ethologie - Verhaltenstest Im externen, wiederholten, kombinierten Verhaltenstest wurden die 10 Minuten (5 Minuten *open field* und 5 Minuten *novel object*) als Ganzes betrachtet. In die statistische Analyse gingen 13 Verhaltensweisen (Lokomotion, Vokalisation, Objektkontakt, etc.; Übersicht siehe Tab. 2.4) in 4 Größenordnungen (Häufigkeit, Latenz, Gesamtdauer, mittlere Dauer) ein, was insgesamt 52 Parameter ergab. Jeder Parameter wurde einmal in Form von Absolutwerten und einmal in Form von Differenzwerten (Differenz zwischen Testwiederholung 2 bzw. 3 und dem ersten Verhaltenstest) einzeln der Varianzanalyse unterzogen. Dabei gingen die Behandlungsgruppe (Versuch vs. Kontrolle), die Testwiederholung (Absolutwerte: 1, 2, 3; Differenzwerte: 2, 3) sowie die Kombination Behandlungsgruppe × Testwiederholung als weitere fixe

¹⁷ SAS Institute Inc., Cary, NC, USA

¹⁸ ein Tier musste im fünften Durchgang wegen eines Mastdarmvorfalls aus der Gruppe entfernt werden

Faktoren neben dem Durchgang ein. Zusätzlich wurde der erste *open field / novel object* Test auf Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen vor Beginn der Versuchsperiode untersucht. Als wiederholter Faktor diente jedes Mal das Tier in der Testwiederholung.

Physiologie - Basalwerte Bei den physiologischen Basalwerten lagen insgesamt 13 Parameter aus der komplexen Analyse der gemessenen Originaldatenreihen vor (Übersicht siehe Tab. 2.1). Zunächst wurden die Daten aus der Läuferphase vor Beginn der Versuchsperiode (Abb. 2.5) statistisch auf bereits vor dem Versuch vorhandene Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen analysiert. Dabei ging, neben dem Durchgang, die Behandlungsgruppe als weiterer fixer Faktor ein.

Welchen Einfluss der Versuchsaufbau auf die physiologischen Parameter hatte, wurde anschließend anhand der Differenzwerte untersucht (Differenz zwischen Messzeitpunkten während der Versuchsperiode und dem Messzeitpunkt vor der Versuchsperiode). Neben dem Durchgang wurden folgende fixe Faktoren verwendet: Behandlungsgruppe, Versuchsphase (1, 2, 3 FR1, 3 FR5), Zeitpunkt innerhalb einer Versuchsphase (Anfang, Ende) sowie sämtliche Kombinationen dieser Faktoren.

Physiologie - Fütterung Bei der Analyse der physiologischen Reaktion auf den Stimulus „Futter“ wurden die 4 Parameter der Zeitbereichs-Analyse verwendet (Tab. 2.1). Zunächst wurden die 2-Minuten-Abschnitte (1 Minute vor Beginn der Futteraufnahme und 1 Minute danach) aus der Läuferphase (Abb. 2.5) auf den Einfluss unterschiedlicher Aktivitäten in der Minute vor Beginn der Futteraufnahme (aktiv vs. inaktiv) und auf bereits vor Beginn der Versuchsperiode vorhandene Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen untersucht. Neben dem Durchgang ging die Behandlungsgruppe, die Aktivität der Schweine in der Minute vor Beginn der Futteraufnahme, das Zeitintervall der 2-Minuten-Abschnitte (Zeitintervall -60 bis +60 Sekunden) sowie die Kombinationen dieser fixen Faktoren in das statistische Modell ein.

Im Anschluss wurde der Abschnitt des Basiswertes (-60 bis -20 Sekunden) vor dem Stimulus „Futter“ auf Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen getestet. Vor Beginn der Versuchsperiode wurde neben dem Durchgang, die Behandlungsgruppe, das Zeitintervall (-60 bis -20 Sekunden) sowie die Kombination letzterer als fixe Faktoren im Modell verwendet. Während der Versuchsperiode gingen zusätzlich die Versuchsphase, der Zeitpunkt innerhalb der Versuchsphasen sowie sämtliche 2fach- und 3fach-Interaktionen zwischen allen Faktoren als fixe Faktoren in das statistische Modell ein.

Für die Untersuchung der physiologischen Reaktion auf den Stimulus „Futter“ sowie deren Entwicklung im Verlaufe der Versuchsperiode wurden die Differenzwerte zwischen den Zeitintervallen -10 bis +60 Sekunden und dem Basiswert (Mittelwert über die Zeitintervalle -60 bis -20 Sekunden) verwendet (Basisdifferenzen). Diese Betrachtung der relativen Reaktion auf den Stimulus „Futter“ glied sowohl individuelle Unterschiede als auch unterschiedliche Basiswerte zwischen den Behandlungsgruppen aus, womit eine Reduktion der Datenmenge durch weitere Einengung der Auswahlkriterien auf den ersten Aufruf des Tages in der Versuchsgruppe (siehe Abschnitt 2.3.2) vermieden werden konnte. Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen wurden analysiert mit den fixen Faktoren: Behandlungsgruppe, Versuchsphase, Zeitpunkt, Zeitintervall, Durchgang und alle 2fach- und 3fach-Interaktionen zwischen den Faktoren.

Innerhalb der Versuchsgruppe wurden weitere statistische Analysen durchgeführt. Es wurde angenommen, dass die Schweine der Versuchsgruppe innerhalb der operanten Versuchsphasen (2, 3 FR1, 3 FR5) unterschiedliche Phasen des Lernens durchliefen. Zu Beginn einer Versuchsphase mussten sie neue Sachverhalte lernen (Anfang) und im Laufe der Versuchsphase festigen (Mitte, Ende). Mit den fixen Faktoren Versuchsphase, Zeitpunkt innerhalb der Versuchsphasen (Anfang, Mitte, Ende), Zeitintervall (-10 bis +60 Sekunden), Durchgang und allen Kombinationen zwischen den Faktoren wurde untersucht, welchen Einfluss der Zeitpunkt innerhalb der operanten Versuchsphasen auf die Parameter der Herzschlagvariabilität hatte. Zuletzt sollte überprüft werden, wie die nicht aufgerufenen Mitglieder der Versuchsgruppe auf den Aufruf eines anderen Tieres reagierten. Wie bei dem Vergleich von Kontrollgruppe und Versuchsgruppe wurden die fixen Faktoren

Versuchsphase, Zeitpunkt (Anfang, Ende), Zeitintervall und Durchgang verwendet. Hinzu kam die Aufrufgruppe (Aufruf vs. kein Aufruf) sowie sämtliche 2fach- und 3fach-Interaktionen zwischen den fixen Faktoren.

Physiologie - Verhaltenstest Für die statistische Analyse der Herzschlagaktivität und -variabilität während des 10 minütigen, externen, wiederholten, kombinierten Verhaltenstests lagen alle 13 Parameter aus Tab. 2.1 in den 2 Testabschnitten *open field* und *novel object* vor. Zunächst wurde geprüft, ob Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen bereits vor Beginn der Versuchsperiode vorlagen (Verhaltenstest 1). Dazu wurden der Durchgang, die Behandlungsgruppe, der Testabschnitt (*open field* vs. *novel object*) und die Kombinationen der Faktoren als fixe Faktoren verwendet. Als wiederholter Faktor diente das Tier in der Testwiederholung.

Die Auswirkung des Versuchsaufbaus auf die Parameter wurde anhand der Absolutwerte (Testwiederholung 1, 2 und 3) und der relativen Veränderungen der Werte im Vergleich zum Verhaltenstest 1 untersucht (Differenzwerte zwischen den Testwiederholungen 2 und 3 (während der Versuchsperiode) und dem 1. Verhaltenstest (vor Beginn der Versuchsperiode), um individuelle Unterschiede und Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen vor Beginn der Versuchsperiode auszugleichen. Fixe Faktoren waren dabei: Behandlungsgruppe, Testwiederholung (1, 2, 3 bzw. 2 und 3), Testabschnitt (*open field*, *novel object*), Durchgang sowie sämtliche 2fach- und 3fach-Interaktionen zwischen den Faktoren. Als wiederholter Faktor diente das Tier in der Testwiederholung.

Sämtliche Ergebnisse der statistischen Analysen werden im Folgenden in Form von „least square means“ \pm „standard error“ (LSM \pm SE) angegeben. Die Signifikanzniveaus der fixen Faktoren aus der Varianzanalyse (F-Werte) und der multiplen post hoc Vergleiche (t-Werte) werden angegeben mit: $\dagger = P < 0.10$, $* = P < 0.05$, $** = P < 0.01$ und $*** = P < 0.001$. Zu den F-Werten und t-Werten werden auch jeweils die Freiheitsgrade in Form von tiefer gestellten Werten angegeben, z. B. $F_{3,340.3}$ und $t_{428.6}$.

3. ERGEBNISSE

3.1 Bewältigung der Lernaufgaben

3.1.1 Phase 1 - Klassische Konditionierung

Abgerufene Futtermenge

Der Versuchstag hatte einen hoch signifikanten Einfluss auf die abgerufene Futtermenge ($F_{6,128.3} = 6.4, P < 0.001$). Die Schweine der Versuchsgruppe akzeptierten die beiden Ton-Schalter-Futterautomaten sofort als neue Futterquelle und deckten ihren theoretischen Futterbedarf bereits am ersten Versuchstag fast zu 100 % (93.5 ± 5.7 %, Abb. 3.1). Am zweiten Tag des neuen Fütterungsmanagements stieg die abgerufene Futtermenge signifikant auf 117.7 ± 5.7 % ($t_{128.3} = 3.1, P < 0.05$) an und blieb in den folgenden Tagen deutlich über der Menge, die die Tiere in diesem Alter laut Fütterungsempfehlungen benötigten (bis 135.1 ± 5.7 %).

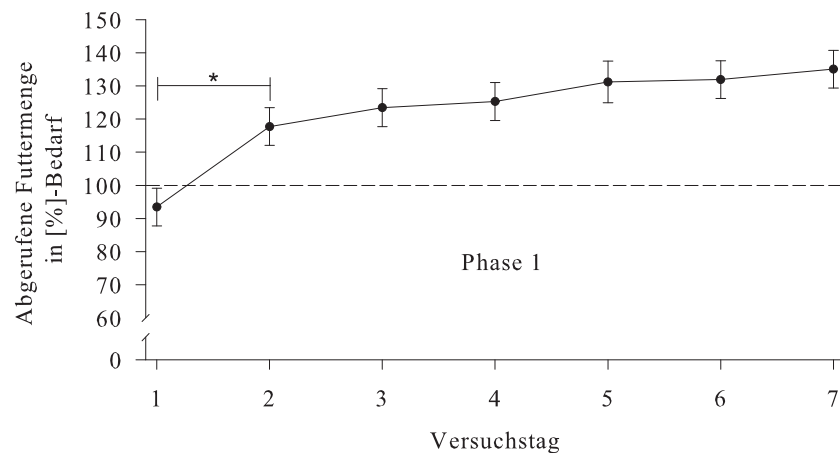


Abb. 3.1: Tägliche abgerufene Futtermenge in % der empfohlenen Futtermenge (Lindermayer et al., 1994) in Phase 1 (LSM ± SE); gestrichelte Linie = 100 % empfohlene Futtermenge. Signifikante post hoc Unterschiede zwischen einzelnen Tagen: * = $P < 0.05$.

3.1.2 Phase 2 und 3 - Operante Konditionierung

Lernerfolg

Der Einfluss des durchgängig, unabhängig von der Versuchsphase nummerierten Versuchstages auf den Lernerfolg war bei der operanten Konditionierung hoch signifikant ($F_{41,894} = 7.0, P < 0.001$). Mit Beginn der individuellen Aufrufe am Versuchstag 8 durch die Futterautomaten mittels der in Phase 1 zur Futterausgabe präsentierten, individuellen Tonsignale sank der Lernerfolg deutlich unter das Lernkriterium von 80 % (entspricht 100 % der empfohlenen Futtermenge) auf 65.9 ± 2.4 % (Abb. 3.2). Es kam bereits am nächsten Tag (Versuchstag 9) zu einer signifikanten Steigerung sowie Überschreitung des Lernkriteriums (83.7 ± 2.4 %; $t_{894} = 6.0, P < 0.001$).

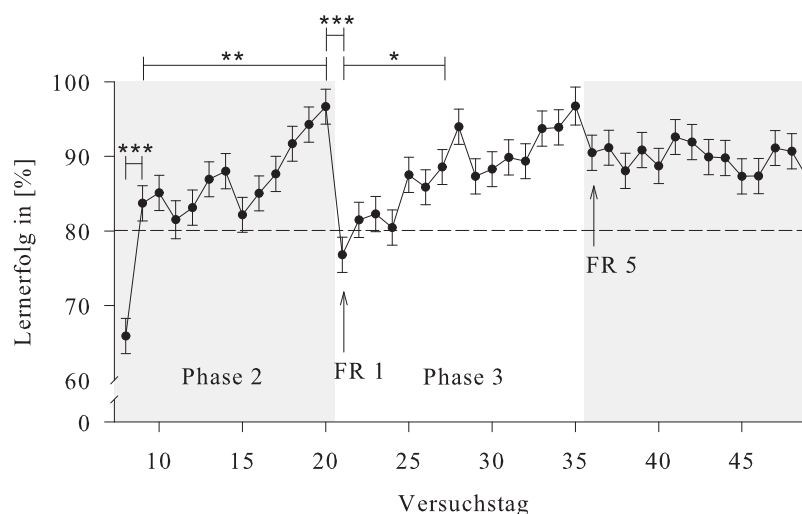


Abb. 3.2: Täglicher Lernerfolg in % richtig befolgter Aufrufe in den Phasen 2 bis 3 FR5 (LSM \pm SE); Phase 2 und 3 FR5 grau hinterlegt; gestrichelte Linie = Lernkriterium (Erklärung siehe Text). Signifikante post hoc Unterschiede zwischen einzelnen Tagen: * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

Die folgenden Veränderungen im Lernerfolg zeigten zwar keine tageweise signifikanten Unterschiede, dennoch stieg der Lernerfolg zum Ende der Phase 2 hin (Versuchstag 20: 96.7 ± 2.4 %) im Vergleich zum Versuchstag 9 signifikant an ($t_{894} = 4.4$, $P < 0.01$).

Die Präsentation einer neuen Herausforderung in Form des Schalterdrückens nach dem Aufruf am Versuchstag 21 ließ den Lernerfolg im Vergleich zum Vortag signifikant auf 76.8 ± 2.4 % sinken (Abb. 3.2; $t_{894} = 6.7$, $P < 0.001$), was nur knapp unterhalb des Lernkriteriums lag. Dieses wurde bereits am folgenden Tag (Versuchstag 22) dauerhaft überschritten. Dennoch blieb der Lernerfolg im Vergleich zum letzten Tag der Phase 2 (Versuchstag 20) bis zum Versuchstag 24 signifikant verringert ($t_{894} = 5.5$, $P < 0.001$). Ein signifikant höherer Lernerfolg als am Beginn dieses neuen Versuchsabschnittes (Versuchstag 21) ließ sich erst nach sechs Tagen nachweisen (Versuchstag 27; $t_{894} = 4.0$, $P < 0.05$). In den nachfolgenden Tagen gab es keine weiteren signifikanten Veränderungen des Lernerfolges. Selbst die Erhöhung des Arbeitsaufwandes, simuliert durch die Erhöhung der geforderten Anzahl Schalterbetätigungen von FR1 auf FR5, hatte keinen signifikanten Effekt auf den Lernerfolg. Dieser blieb annähernd konstant bei ca. 90 % und damit deutlich über dem Lernkriterium.

Latenz

Einen ebenso signifikanten Einfluss hatte der Versuchstag auf die mittlere tägliche Latenz (Abb. 3.3; $F_{41,894} = 17.8$, $P < 0.001$). Diese lag am ersten Tag der Phase 2 (Versuchstag 8) bei 48 ± 2 Sekunden, sank am nächsten Tag signifikant ab auf 34 ± 2 Sekunden ($t_{894} = 5.2$, $P < 0.001$) und blieb für weitere drei Tage auf diesem Niveau. Danach kam es innerhalb der folgenden zwei Tage erneut zu einem deutlichen Absinken der Latenz auf 23 ± 2 Sekunden (Versuchstag 12 vs. 14: $t_{894} = 4.4$, $P < 0.01$), was sich bis zum Ende der Phase 2 in abgeschwächter Form fortsetzte (Versuchstag 15 vs. 20: $t_{894} = 4.0$, $P < 0.05$). Die Tiere benötigten zu diesem Zeitpunkt bis zum erfolgreichen Abrufen einer Futterportion durchschnittlich nur noch 16 ± 2 Sekunden.

Die Einführung des Schalters am Versuchstag 21 als neu zu lernenden Aspekt zu den bekannten individuellen Aufrufen führte zu einem hoch signifikanten Anstieg der Latenz auf 57 ± 2 Sekunden ($t_{894} = 15.1$, $P < 0.001$). Die Latenz verringerte sich zwar zum nächsten Tag deutlich (Versuchstag 22; $t_{894} = 8.3$, $P < 0.001$), blieb aber im Vergleich zum letzten Tag der Phase 2 (Versuchstag 20) bis zum Versuchstag 24 signifikant erhöht bei 28 ± 2 Sekunden ($t_{894} = 4.6$, $P < 0.01$). Zum Ende

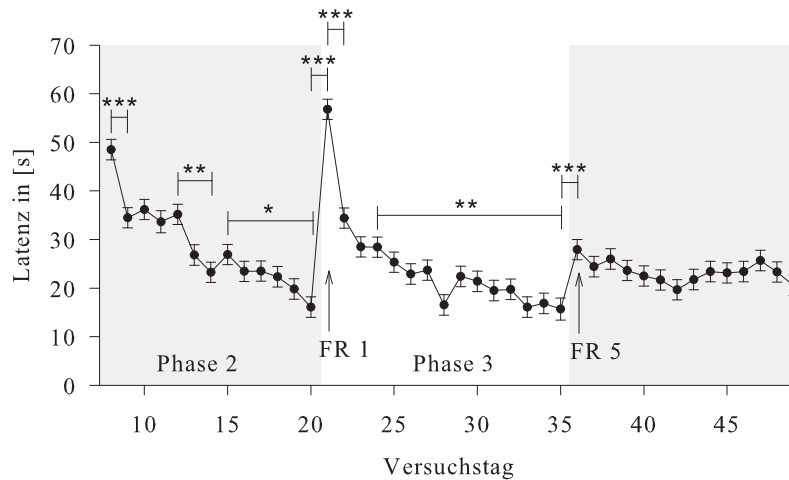


Abb. 3.3: Mittlere tägliche Latenz (Zeit zwischen Aufruf und Futterausgabe) in Sekunden in den Phasen 2 bis 3 FR5 (LSM \pm SE); Phase 2 und 3 FR5 grau hinterlegt. Signifikante post hoc Unterschiede zwischen einzelnen Tagen: * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

der Phase 3 FR1 hin (Versuchstag 35) verringerte sich die Latenz allmählich weiter ($t_{894} = 4.5$, $P < 0.01$) bis sie schließlich mit 15.7 ± 2 Sekunden das Niveau vom Ende der Phase 2 erreichte. Eine weitere Erhöhung des Arbeitsaufwandes auf fünfmaliges Betätigen des Schalters am Versuchstag 36 führte zu einem signifikanten Anstieg der Latenz auf 28 ± 2 Sekunden (Abb. 3.3; $t_{894} = 4.3$, $P < 0.05$). Bis zum Ende des Versuches vollzogen sich keine signifikanten Veränderungen, obwohl die Latenz ab dem zweiten Tag der Phase 3 FR5 (Versuchstag 37) keine signifikanten Unterschiede mehr zum Ende der Phase 3 FR1 (Versuchstag 35) aufwies. Die Schweine benötigten in der Versuchsphase 3 FR5 durchschnittlich 23 Sekunden um ihr Futter abzurufen.

3.2 Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität

3.2.1 Kurzfristige Veränderungen — Die Fütterungssituation

Ausgangswerte - Einfluss der Aktivität und der Behandlungsgruppe

Zunächst wurden die Daten der Futteraufnahme in der Läuferbucht vor Beginn der Versuchsperiode analysiert. Um zu prüfen, ob die unterschiedliche Verhaltensaktivität der Schweine (aktiv vs. inaktiv) einen Einfluss auf die Herzschlagaktivität und -variabilität hat, wurden von den vorhandenen 2-Minuten-Abschnitten die Zeitintervalle -60 bis -20 Sekunden vor Beginn der Futteraufnahme untersucht. In diesen Zeitintervallen zeigten die Tiere durchgängig allgemein aktives bzw. inaktives Verhalten. In Tab. 3.1 sind die Ergebnisse der durchgeführten Zeitbereichs-Analyse unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aktivitäten (aktiv vs. inaktiv) dargestellt. Nachgewiesen werden konnte ein deutlicher Einfluss der Aktivität auf die Ausprägung der Herzfrequenz ($F_{1,271.4} = 25.4$, $P < 0.001$). Diese war bei den aktiven Schweinen signifikant höher als bei den inaktiven. Auf den SDNN-Wert hatte die Aktivität ebenfalls einen Einfluss ($F_{1,280.6} = 3.9$, $P < 0.05$). Aktive Tiere wiesen einen geringeren SDNN-Wert auf als inaktive. Auf die übrigen Parameter (RMSSD, Verhältnis RMSSD/SDNN) hatte die Aktivität der Tiere keinen nachweisbaren Einfluss.

Aufgrund des Einflusses unterschiedlicher Aktivitäten auf die Herzfrequenz und den SDNN-Wert, wurde in den nachfolgenden Analysen nur noch diejenigen Ereignisse betrachtet, in denen die Tiere vor der Futteraufnahme aktiv waren. Die aktive Verhaltensweise wurde der inaktiven vorgezogen, weil die Tiere auch während der Futteraufnahme als aktiv angesehen werden können und ein zusätzlicher physischer Einfluss, z. B. durch Änderung der Körperhaltung oder plötzliche Lokomotion, weitestgehend ausgeschlossen werden sollte. Es wird daher angenommen, dass

Tab. 3.1: Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität vor Beginn der Versuchsperiode; Vergleich unterschiedlicher Aktivitäten im Zeitintervall -60– -20 Sekunden vor Beginn der Futteraufnahme; signifikante Unterschiede zwischen aktiv und inaktiv: * = $P < 0.05$, *** = $P < 0.001$.

| Parameter | aktiv | inaktiv |
|------------|-------------|-----------------|
| HR | 166.4 ± 3.8 | 159.9 ± 3.8 *** |
| SDNN | 12.5 ± 0.8 | 14.1 ± 0.9 * |
| RMSSD | 8.5 ± 0.5 | 8.6 ± 0.5 |
| RMSSD/SDNN | 0.74 ± 0.03 | 0.70 ± 0.04 |

alle beobachteten Veränderungen der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität hauptsächlich psychisch oder emotional beeinflusst sind.

Des Weiteren wurde analysiert, ob bereits vor Beginn der Versuchsperiode Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen vorlagen. Dazu wurde der gesamte 2-Minuten-Abschnitt verwendet und es gingen nur diejenigen Daten ein, in denen die Schweine vor Beginn der Futteraufnahme aktiv waren. Tab. 3.2 zeigt die Ergebnisse der Zeitbereichs-Analyse unter Berücksichtigung der Behandlungsgruppe. Die statistischen Tests ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe und damit auch keinen Einfluss der Behandlungsgruppe auf die Herzfrequenz und die Herzschlagvariabilität vor Beginn der Versuchsperiode. Daher wurde auf die Differenzbildung zwischen den Ausgangswerten und den Werten der Versuchsperiode verzichtet.

Tab. 3.2: Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität der Futteraufnahme vor Beginn der Versuchsperiode; Vergleich zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe.

| Parameter | Versuchsgruppe | Kontrollgruppe |
|------------|----------------|----------------|
| HR | 170.2 ± 4.1 | 162.8 ± 4.2 |
| SDNN | 11.4 ± 0.7 | 12.4 ± 0.7 |
| RMSSD | 8.0 ± 0.5 | 8.8 ± 0.5 |
| RMSSD/SDNN | 0.81 ± 0.03 | 0.79 ± 0.03 |

Basiswerte vor dem Stimulus „Futter“

Alle Aufrufe der Versuchsgruppe

Der arithmetische Mittelwert über die Zeitintervalle -60 bis -20 Sekunden vor dem Stimulus „Futter“ wurde als Basiswert bezeichnet, von dem aus die anschließende physiologische Reaktion auf den Stimulus betrachtet wurde. Doch zunächst wurden die entsprechenden Zeitintervalle einzeln, d. h. ohne Bildung des Mittelwertes, auf Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen untersucht.

Die Analyse der Daten vor Beginn der Versuchsperiode zeigte, dass die Behandlungsgruppe zu dieser Zeit keinen signifikanten Einfluss auf die Basiswerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität hatte (Tab. 3.3).

Während der Versuchsperiode hingegen (Tab. 3.4) hatten sowohl die Behandlungsgruppe als auch zeitbezogene Faktoren wie Versuchsphase und Zeitpunkt einen signifikanten Einfluss auf die Basiswerte von Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität. Insbesondere am Ende der Versuchsperiode traten signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen auf.

Die Behandlungsgruppen unterschieden sich während der Versuchsperiode durch den Fütterungsmodus. Das Futter der Kontrollgruppe wurde täglich um 8 Uhr früh in den Trögen platziert, während die Versuchsgruppe mehrmals über den Tag verteilt von den Futterautomaten individuell aufgerufen wurden. Während der Messung der Herzschlagaktivität von 8 Uhr bis 11 Uhr wurde jedes Schwein der Versuchsgruppe 9 Mal aufgerufen. Aus diesen Aufrufen wurde letztendlich, an-

Tab. 3.3: Basiswerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität vor Beginn der Versuchsperiode (LSM \pm SE).

| Parameter | Versuchsgruppe | Kontrollgruppe |
|------------|-----------------|-----------------|
| HR | 172.4 \pm 5.4 | 163.8 \pm 5.3 |
| SDNN | 12.9 \pm 1.3 | 12.2 \pm 1.3 |
| RMSSD | 8.5 \pm 0.8 | 8.1 \pm 0.8 |
| RMSSD/SDNN | 0.73 \pm 0.05 | 0.74 \pm 0.05 |

Tab. 3.4: Basiswerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität in den einzelnen Phasen der Versuchsperiode (LSM \pm SE); signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe (alle Aufrufe) und Kontrollgruppe: * = P < 0.05, *** = P < 0.001.

| Parameter | Versuchsphase | Versuchsgruppe | Kontrollgruppe |
|------------|---------------|-----------------|---------------------|
| HR | 1 | 163.8 \pm 2.1 | 161.6 \pm 4.3 |
| | 2 | 139.2 \pm 2.1 | 140.9 \pm 3.0 |
| | 3 FR1 | 135.3 \pm 2.0 | 126.0 \pm 2.6 * |
| | 3 FR5 | 129.6 \pm 2.0 | 115.7 \pm 2.4 *** |
| SDNN | 1 | 11.0 \pm 1.2 | 9.4 \pm 2.5 |
| | 2 | 12.0 \pm 1.2 | 11.9 \pm 1.8 |
| | 3 FR1 | 14.0 \pm 1.1 | 16.2 \pm 1.5 |
| | 3 FR5 | 14.8 \pm 1.1 | 20.4 \pm 1.4 * |
| RMSSD | 1 | 7.1 \pm 0.9 | 3.8 \pm 1.8 |
| | 2 | 8.6 \pm 0.9 | 9.5 \pm 1.3 |
| | 3 FR1 | 9.3 \pm 0.9 | 11.7 \pm 1.1 |
| | 3 FR5 | 9.6 \pm 0.9 | 16.1 \pm 1.1 *** |
| RMSSD/SDNN | 1 | 0.72 \pm 0.03 | 0.56 \pm 0.08 |
| | 2 | 0.79 \pm 0.03 | 0.87 \pm 0.06 |
| | 3 FR1 | 0.73 \pm 0.03 | 0.74 \pm 0.04 |
| | 3 FR5 | 0.73 \pm 0.03 | 0.82 \pm 0.04 |

hand der Kriterien von Abschnitt 2.3.2 ein Aufruf ausgewählt, wo das Tier in der Minute vor dem Aufruf aktiv war. Das bedeutet, bei der Versuchsgruppe trat der Stimulus „Futter“ irgendwann zwischen 8 Uhr und 11 Uhr auf, während bei der Kontrollgruppe die Tageszeit konstant blieb. Im folgenden wurde untersucht, ob die in Tab. 3.4 sichtbaren Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen auf die Tageszeit zurückzuführen waren. Dazu wurden bei der Versuchsgruppe die jeweils ersten Aufrufe des Tages verwendet, die zwischen 8 Uhr und 8:20 Uhr auftraten und vergleichbar mit der Fütterungszeit der Kontrollgruppe waren.

Erster Aufruf der Versuchsgruppe

Bezog man bei der Varianzanalyse nur den ersten Aufruf des Tages bei der Versuchsgruppe ein, hatte die Behandlungsgruppe allein keinen signifikanten Einfluss mehr auf die Basiswerte von Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität (Tab. 3.5). Zum Teil traten signifikante Einflüsse der Behandlungsgruppe in Kombination mit zeitbezogenen Faktoren wie Versuchsphase und Zeitpunkt auf. In diesen Fällen hatten aber die zeitbezogenen Faktoren allein sehr starke Auswirkungen auf den entsprechenden Parameter und im post hoc Vergleich traten keine signifikanten Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe zu bestimmten Zeitpunkten auf. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die signifikanten Einflüsse der Behandlungsgruppe in Kombination mit den zeitbezogenen Faktoren hauptsächlich auf die zeitbezogenen Faktoren zurückzuführen waren.

Tab. 3.5: Basiswerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität in den einzelnen Phasen der Versuchsperiode; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe (erster Aufruf) und Kontrollgruppe: $\dagger = P < 0.10$.

| Parameter | Versuchsphase | Versuchsgruppe | Kontrollgruppe |
|------------|---------------|-----------------|---------------------------|
| HR | 1 | 163.8 \pm 3.1 | 160.9 \pm 3.7 |
| | 2 | 129.2 \pm 3.0 | 140.8 \pm 2.8 \dagger |
| | 3 FR1 | 128.6 \pm 2.7 | 125.5 \pm 2.5 |
| | 3 FR5 | 119.7 \pm 2.7 | 115.3 \pm 2.4 |
| SDNN | 1 | 11.5 \pm 2.2 | 9.7 \pm 2.6 |
| | 2 | 15.1 \pm 1.9 | 12.0 \pm 1.8 |
| | 3 FR1 | 16.3 \pm 1.7 | 16.7 \pm 1.4 |
| | 3 FR5 | 17.0 \pm 1.8 | 20.5 \pm 1.3 |
| RMSSD | 1 | 6.8 \pm 2.0 | 3.4 \pm 2.2 |
| | 2 | 12.2 \pm 1.8 | 9.1 \pm 1.6 |
| | 3 FR1 | 12.4 \pm 1.7 | 11.6 \pm 1.5 |
| | 3 FR5 | 12.6 \pm 1.7 | 15.8 \pm 1.4 |
| RMSSD/SDNN | 1 | 0.71 \pm 0.06 | 0.55 \pm 0.09 |
| | 2 | 0.79 \pm 0.07 | 0.86 \pm 0.06 |
| | 3 FR1 | 0.79 \pm 0.06 | 0.72 \pm 0.05 |
| | 3 FR5 | 0.77 \pm 0.06 | 0.81 \pm 0.04 |

Die Ergebnisse wiesen darauf hin, dass tatsächlich die Tageszeit der Grund für die Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen in Tab. 3.4 war.

Neben der in Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Einschränkungen bei der Auswahl der Aufrufe in der Versuchsgruppe, hätte eine weitere Einschränkung auf den ersten Aufruf des Tages eine starke Reduktion der Daten zur Folge. Daher wurde für alle Datensätze über die Zeitintervalle -60 bis -20 Sekunden vor dem Stimulus „Futter“ der arithmetische Mittelwert gebildet und dieser Basiswert von den folgenden Zeitintervallen (-10 bis +60 Sekunden) abgezogen. Das Resultat waren Basisdifferenzen, die die relative physiologische Reaktion auf den Stimulus „Futter“ widerspiegeln. Ein weiterer Vorteil dieser Differenzwertbildung war, dass damit zeitliche Effekte, die nicht durch den Versuchsaufbau, sondern durch zunehmendes Alter und Gewicht der Tiere verursacht wurden, ausgeglichen werden konnten.

Basisdifferenzen - Reaktion auf den Stimulus „Futter“

Allgemeine Reaktion - Einfluss der Behandlungsgruppe und des Zeitintervalls

Ausgangswerte in der Läuferphase

In der Läuferphase vor Beginn der Versuchsperiode hatte keiner der untersuchten Faktoren einen Einfluss auf die Herzfrequenz während der Futteraufnahme (HR: Abb. 3.4 a). Diese war 10 Sekunden vor Beginn der Futteraufnahme leicht, aber nicht signifikant erhöht und wich insgesamt mit +1.4 bis +4.3 \pm 1.6 Schläge pro Minute kaum vom Basiswert ab.

Auf die Parameter der Herzschlagvariabilität hatte die Behandlungsgruppe keinen, das Zeitintervall hingegen signifikante Auswirkungen. Der SDNN-Wert ($F_{6,202.4} = 4.2$, $P < 0.001$; Abb. 3.4 b) sank mit Beginn der Futteraufnahme unter das Niveau des Basiswertes (post hoc Vergleich von Zeitintervall -10 mit +20 Sekunden: $t_{202.4} = 3.7$, $P < 0.01$). Der RMSSD-Wert ($F_{6,202.7} = 4.0$, $P < 0.001$; Abb. 3.4 c) war 10 Sekunden vor Beginn der Futteraufnahme leicht verringert, stieg dann aber 30 Sekunden nach Beginn der Futteraufnahme über das Niveau des Basiswertes an

(post hoc Vergleich von Zeitintervall -10 mit +30 Sekunden: $t_{202.7} = 3.0$, $P < 0.05$). Das Verhältnis RMSSD/SDNN ($F_{6,202.5} = 8.9$, $P < 0.001$; Abb. 3.4 d) war wie der RMSSD-Wert zunächst leicht verringert, stieg dann aber signifikant an über das Niveau des Basiswertes (post hoc Vergleich von Zeitintervall -10 mit +30 Sekunden: $t_{202.5} = 4.1$, $P < 0.001$).

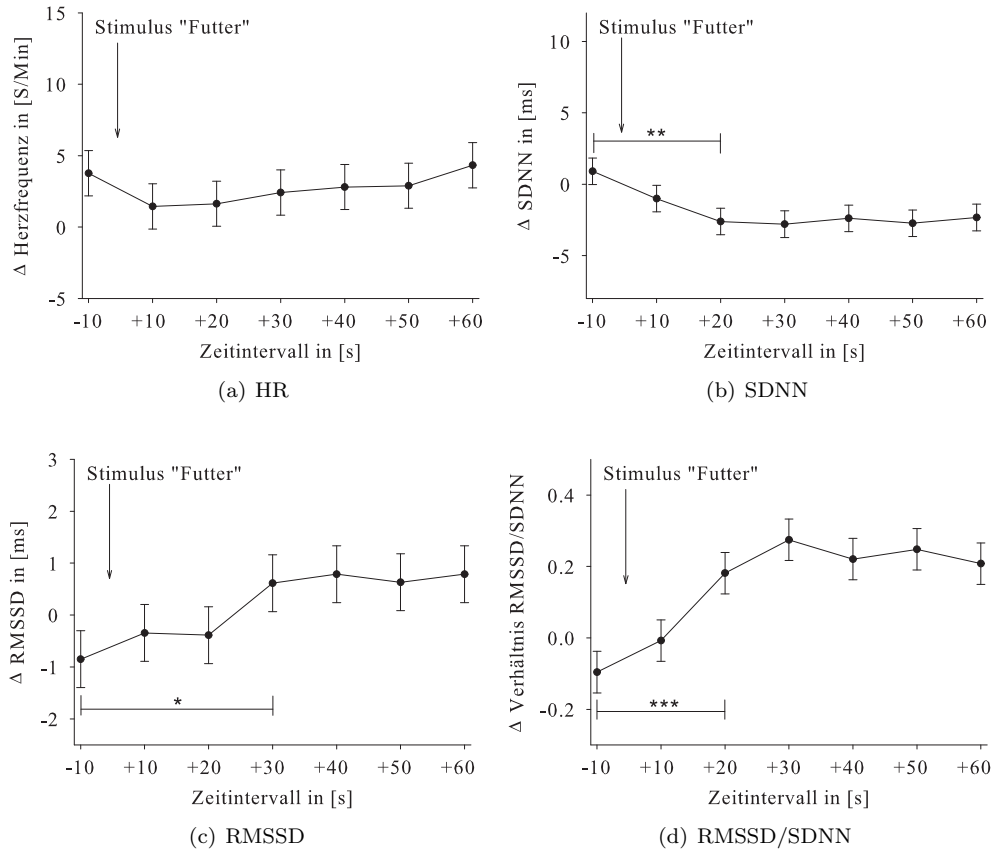


Abb. 3.4: Reaktion der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität auf den Beginn der Futteraufnahme in der Läuferphase in Form von Basisdifferenzen unabhängig von der Behandlungsgruppe; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Zeitintervallen: * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

Versuchsperiode

In der Kontrollgruppe galt der Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode allen Tieren gleichzeitig und es gingen demzufolge auch die Daten aller Tiere in die Analyse ein. In der Versuchsgruppe hingegen galt der individuelle Aufruf jeweils nur einem Tier. Daher gingen in den folgenden Ergebnissen auch nur diejenigen Tiere der Versuchsgruppe ein, die tatsächlich aufgerufen wurden.

HR Während der Versuchsperiode hatten sowohl die Behandlungsgruppe ($F_{1,39.1} = 24.5$, $P < 0.001$) als auch das Zeitintervall ($F_{6,1215.2} = 40.4$, $P < 0.001$) und die Kombination der beiden Faktoren (Behandlungsgruppe \times Zeitintervall: $F_{6,1215.2} = 14.8$, $P < 0.001$) einen signifikanten Einfluss auf die Reaktion der Herzfrequenz (HR) bezüglich des Stimulus „Futter“.

Abb. 3.5 zeigt die allgemeine Reaktion der Herzfrequenz, d. h. über alle Versuchsphasen. Es wird deutlich, dass sich die direkte, physiologische Reaktion von Schweinen auf den Stimulus „Fut-

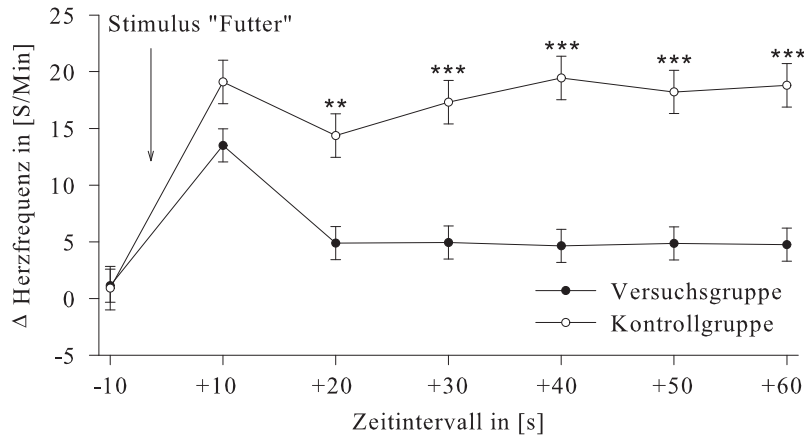


Abb. 3.5: Allgemeine Reaktion der Herzfrequenz auf den Stimulus „Futter“ (Aufruf vs. konventionelle Fütterung) in 10-Sekunden-Intervallen bis 1 Minute nach Stimulus über alle Versuchsphasen als Basisdifferenz; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe: ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

ter“ sehr schnell und heftig ereignete. Bei beiden Behandlungsgruppen konnte innerhalb von 10 Sekunden ein sprunghafter, signifikanter Anstieg der Herzfrequenz um durchschnittlich 16.3 ± 1.2 Schläge pro Minute nachgewiesen werden (post hoc Vergleich von Zeitintervall -10 mit +10 Sekunden: $t_{1215.2} = 14.8$, $P < 0.001$). Bei den Tieren der Versuchsgruppe sank die Herzfrequenz innerhalb der nächsten 10 Sekunden wieder signifikant ab (post hoc Vergleich der Zeitintervalle +10 und +20 Sekunden: $t_{1215.2} = 8.3$, $P < 0.001$) und blieb mit durchschnittlich $+5 \pm 1.5$ Schlägen pro Minute im Vergleich zum Zeitintervall -10 Sekunden leicht, aber signifikant erhöht (post hoc Vergleich der Zeitintervalle -10 und +60 Sekunden: $t_{1215.2} = 3.5$, $P < 0.05$). Bei der Kontrollgruppe konnten hingegen keine weiteren signifikanten Veränderungen der Herzfrequenz nachgewiesen werden. Diese blieb in dem analysiertem Zeitraum bis 1 Minute nach Beginn der Fütterung gegenüber dem Basiswert signifikant erhöht mit $+13.5$ bis $+18.5 \pm 1.8$ Schlägen pro Minute (post hoc Vergleich der Zeitintervalle -10 und +60 Sekunden: $t_{1215.2} = 10.2$, $P < 0.001$) und unterschied sich damit deutlich von der Versuchsgruppe.

SDNN Auf den SDNN-Wert der Herzschlagvariabilität hatte die Behandlungsgruppe allein keinen signifikanten Einfluss. Erst in Kombination mit dem Zeitintervall konnten signifikante Auswirkungen nachgewiesen werden (Behandlungsgruppe \times Zeitintervall: $F_{6,1213.2} = 11.1$, $P < 0.001$). Auch das Zeitintervall allein hatte einen signifikanten Einfluss auf den SDNN-Wert ($F_{6,1213.2} = 28.6$, $P < 0.001$).

In der Versuchsgruppe spiegelte die Reaktion des SDNN-Wertes auf den Stimulus „Futter“ den Verlauf der Herzfrequenz wider (Abb. 3.6). Auch dieser Parameter reagierte mit einem sprunghaften Anstieg um $+9.9 \pm 1.1$ ms auf die Präsentation des individuellen Tonsignals (post hoc Vergleich von Zeitintervall -10 mit +10 Sekunden: $t_{1213.2} = 11.0$, $P < 0.001$). Danach sank der SDNN-Wert mit bis zu -4.3 ± 1.1 ms unter das Niveau des Basiswertes (post hoc Vergleich von Zeitintervall -10 mit +30 Sekunden: $t_{1213.2} = 4.2$, $P < 0.01$).

In der Kontrollgruppe war bereits das Zeitintervall -10 Sekunden im Vergleich zum Basiswert mit $+7.6 \pm 1.6$ ms stark erhöht und unterschied sich damit signifikant vom SDNN-Wert der Versuchsgruppe zu diesem Zeitpunkt ($t_{70.7} = 4.3$, $P < 0.01$). Danach sank der SDNN-Wert zwar signifikant ab (post hoc Vergleich von Zeitintervall -10 mit +20 Sekunden: $t_{1213.2} = 4.9$, $P < 0.001$), blieb aber mit Differenzwerten zwischen -0.9 und $+0.4 \pm 1.6$ ms ungefähr auf dem Niveau des Basiswertes.

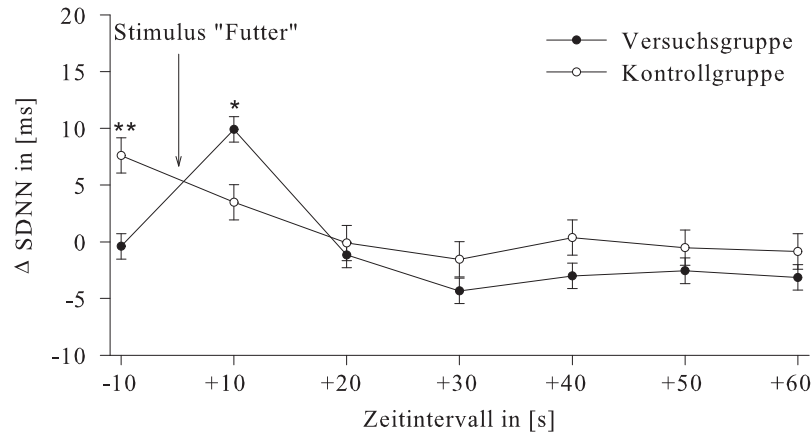


Abb. 3.6: Allgemeine Reaktion des SDNN-Wertes auf den Stimulus „Futter“ (Aufruf vs. konventionelle Fütterung) in 10-Sekunden-Intervallen bis 1 Minute nach Stimulus über alle Versuchsphasen als Basisdifferenz; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe: * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$.

RMSSD Der RMSSD-Wert der Herzschlagvariabilität wies nicht so deutliche Veränderungen auf, wie die Herzfrequenz und der SDNN-Wert. Auf diesen Parameter hatte weder die Behandlungsgruppe noch das Zeitintervall oder die Kombination der beiden Faktoren einen signifikanten Einfluss (Abb. 3.7 a).

RMSSD/SDNN Das Verhältnis RMSSD/SDNN als letzter Parameter der Herzschlagvariabilität zeigte wiederum eine deutliche Reaktion auf den Stimulus „Futter“ (Abb. 3.7 b). Einen signifikanten Einfluss hatten sowohl die Behandlungsgruppe ($F_{1,25.7} = 30.0$, $P < 0.001$) als auch das Zeitintervall ($F_{6,1215.8} = 39.7$, $P < 0.001$) und die Kombination der beiden Faktoren (Behandlungsgruppe \times Zeitintervall: $F_{6,1215.8} = 5.5$, $P < 0.001$).

In der Versuchsgruppe wies das Verhältnis RMSSD/SDNN den spiegelbildlichen Verlauf von Herzfrequenz und SDNN-Wert auf. Mit Präsentation des individuellen Tonsignals sank das Verhältnis sprunghaft und signifikant unter den Basiswert ab (post hoc Vergleich von Zeitintervall -10 mit +10 Sekunden: $t_{1215.8} = 5.7$, $P < 0.001$). Direkt im Anschluss stieg der Parameter wieder an (post hoc Vergleich von Zeitintervall +10 mit +20 Sekunden: $t_{1215.8} = 12.6$, $P < 0.001$) und erreichte mit $+0.24 \pm 0.03$ einen Wert, der signifikant über dem Basiswert lag (post hoc Vergleich von Zeitintervall -10 mit +20 Sekunden: $t_{1215.8} = 6.9$, $P < 0.001$). Alle folgenden Zeitintervalle lagen deutlich über dem Basiswert und wiesen keine weiteren signifikanten Veränderungen auf.

Bei der Kontrollgruppe ähnelte die Reaktion dem spiegelbildlichen Verlauf des SDNN-Wertes. Bereits 10 Sekunden vor dem Stimulus „Futter“ lag der Wert mit -0.16 ± 0.05 unter dem Niveau des Basiswertes. Die Werte blieben auch bei der Platzierung des Futters im Trog (Zeitintervall +10 Sekunden) mit -0.17 ± 0.05 gegenüber dem Basiswert verringert. Danach stieg das Verhältnis RMSSD/SDNN signifikant an (post hoc Vergleich von Zeitintervall +10 mit +30 Sekunden: $t_{1215.8} = 3.5$, $P < 0.05$). In den folgenden Zeitintervallen traten keine weiteren signifikanten Veränderungen auf. Die Werte wichen mit $+0.008$ bis $+0.10 \pm 0.05$ kaum vom Basiswert ab und unterschieden sich signifikant von der Versuchsgruppe.

Entwicklung der Reaktion - Einfluss der Versuchsphase

HR Im Verlauf der Versuchsperiode hatte die Versuchsphase ($F_{3,1242.3} = 30.1$, $P < 0.001$) und die Versuchsphase in Kombination mit der Behandlungsgruppe (Versuchsphase \times Behandlungsgruppe: $F_{3,1239.1} = 32.2$, $P < 0.001$) einen signifikanten Einfluss auf die Herzfrequenz.

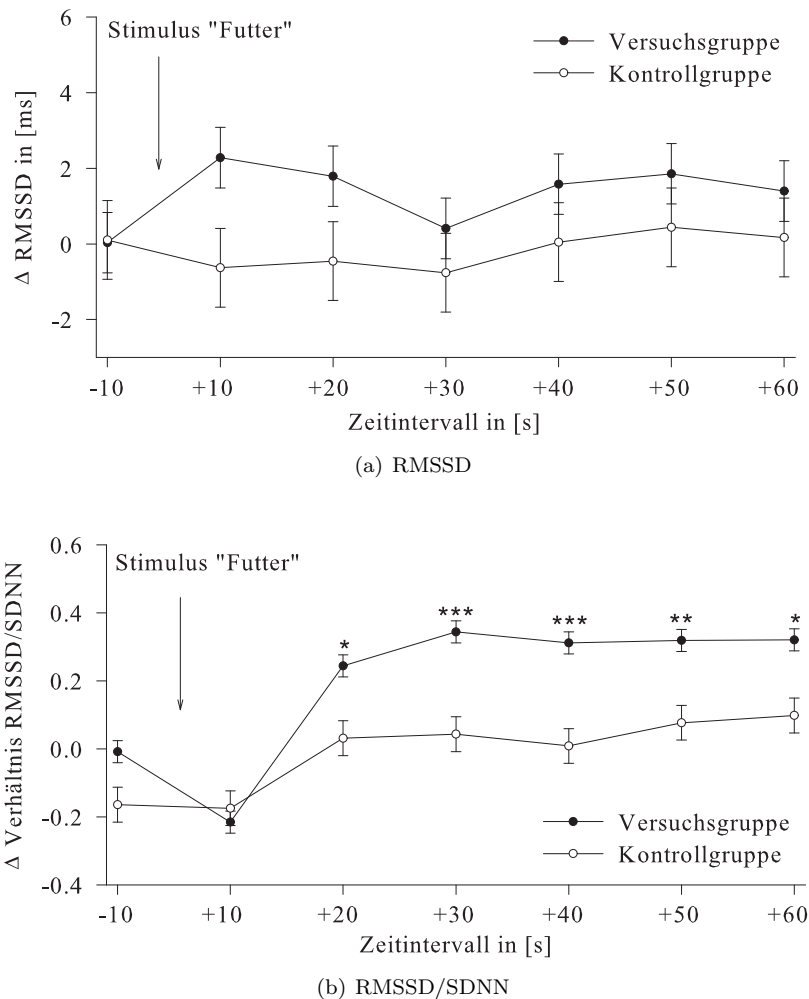


Abb. 3.7: Allgemeine Reaktion des RMSSD-Wertes und des Verhältnisses RMSSD/SDNN auf den Stimulus „Futter“ (Aufruf vs. konventionelle Fütterung) in 10-Sekunden-Intervallen bis 1 Minute nach Stimulus über alle Versuchsphasen als Basisdifferenz; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe: * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

Abb. 3.8 zeigt, dass die oben beschriebene allgemeine Reaktion der Herzfrequenz (HR) auf den Stimulus „Futter“ in der Versuchsgruppe, d. h. sprunghafter Anstieg und anschließender Abfall der Herzfrequenz, nicht von Anfang an vorhanden war. In Versuchsphase 1 (Abb. 3.8 a) wichen die Werte der Versuchsgruppe kaum vom Basiswert ab ($+1.1$ bis $+4.2 \pm 2.0$ Schläge pro Minute). Damit glich diese Versuchsphase der *ad libitum* Fütterung vor Beginn der Versuchsperiode, wo ebenfalls keine signifikanten Abweichungen vom Basiswert aufgetreten waren (Abb. 3.4 a). Doch mit Beginn der individuellen Aufrufe in Versuchsphase 2 trat der Anstieg der Herzfrequenz als signifikante Reaktion auf den Aufruf auf (Abb. 3.8 b) und blieb bis zum Ende der Versuchsperiode erhalten (Abb. 3.8 c und d). Dabei stieg die Differenz zum Basiswert im Laufe des Versuches zwar immer weiter an, die Unterschiede erwiesen sich aber als nicht signifikant. Der anschließende Rückgang der Herzfrequenz auf nahezu Basiswert war erst ab Versuchsphase 3 FR1 signifikant. In keiner der Versuchsphasen unterschieden sich die Zeitintervalle nach der direkten Reaktion auf den Aufruf signifikant vom Basiswert.

Anders als in der Versuchsgruppe wies die Herzfrequenz der Tiere der Kontrollgruppe bereits in Versuchsphase 1 eine deutliche Reaktion auf die Fütterung auf, d. h. sprunghafter Anstieg der

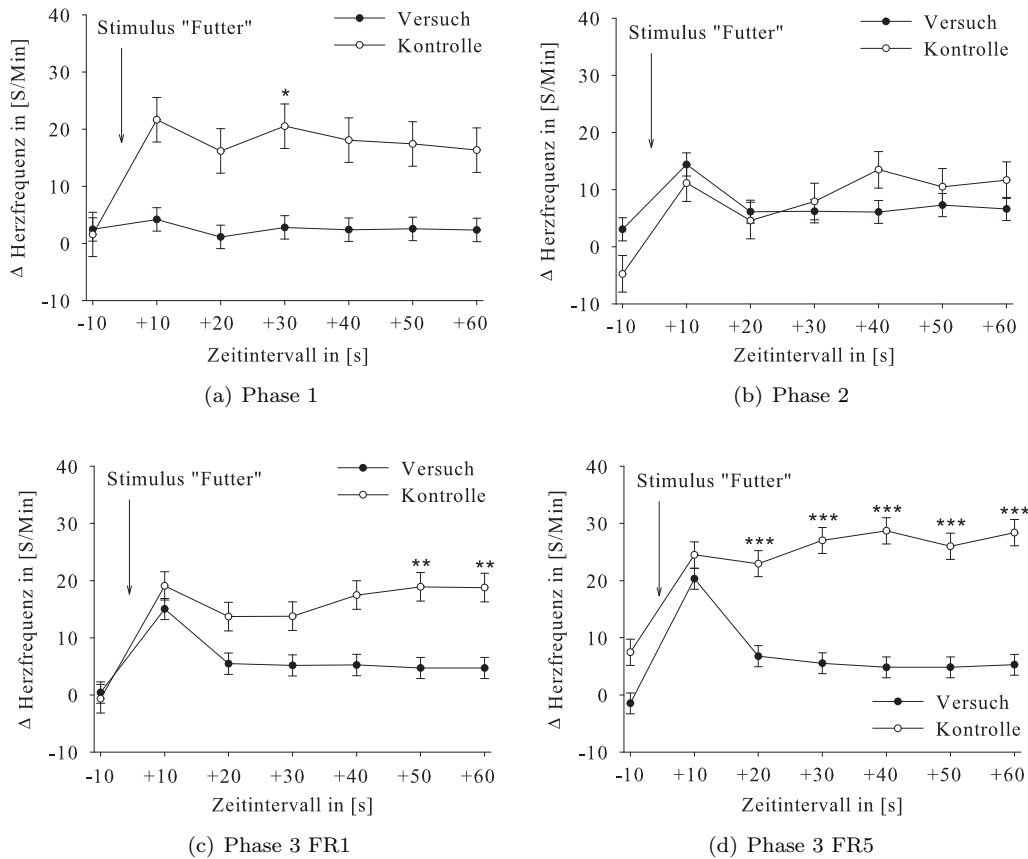


Abb. 3.8: Entwicklung der Reaktion der Herzfrequenz auf den Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode in Form von Basisdifferenzen; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe: * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

Herzfrequenz (Abb. 3.8 a). In Versuchsphase 2 erwies sich die Reaktion nur noch als tendenziell (Abb. 3.8 b) und in den Versuchsphasen 3 FR1 und 3 FR5 trat der sprunghafte Anstieg wieder deutlich hervor (Abb. 3.8 c und d). Die Unterschiede zwischen den Versuchsphasen waren nicht signifikant. In keiner der Versuchsphasen konnte ein anschließender Abfall der Herzfrequenz nachgewiesen werden. In den Versuchsphasen 1 und 2 traten nach der direkten Reaktion auf den Stimulus „Futter“ nur vereinzelt gegenüber dem Basiswert deutlich erhöhte Werte auf. In den Phasen 3 FR1 und 3 FR5 hingegen unterschieden sich alle Zeitintervalle nach der direkten Reaktion signifikant sowohl vom Basiswert als auch, in Phase 3 FR5, von der Versuchsgruppe. In Versuchsphase 2 (Abb. 3.8 b) fällt zudem der nahezu parallele Verlauf der Herzfrequenz in den beiden Behandlungsgruppen auf.

SDNN Signifikante Einflüsse auf den SDNN-Wert während der Versuchsperiode hatten die Versuchsphase ($F_{3,1183.8} = 7.3$, $P < 0.001$), Versuchsphase \times Behandlungsgruppe ($F_{3,1165.9} = 6.8$, $P < 0.001$) und Versuchsphase \times Behandlungsgruppe \times Zeitintervall ($F_{18,1213.2} = 2.0$, $P < 0.01$).

Während vor Beginn der Versuchsperiode der SDNN-Wert mit Beginn der Futteraufnahme unter das Niveau des Basiswertes fiel (Abb. 3.4 b), reagierte der SDNN-Wert in Versuchsphase 1 (Abb. 3.9 a) nicht auf den Stimulus „Futter“ und es traten auch keine Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen auf. Wie bei der Herzfrequenz trat auch bei diesem Parameter in der Versuchsgruppe ab Versuchsphase 2 (Abb. 3.9 b) bis zum Ende der Versuchsperiode (Abb. 3.9 c und d) eine deutliche Reaktion auf den Aufruf auf, d. h. sprunghafter Anstieg und anschließender

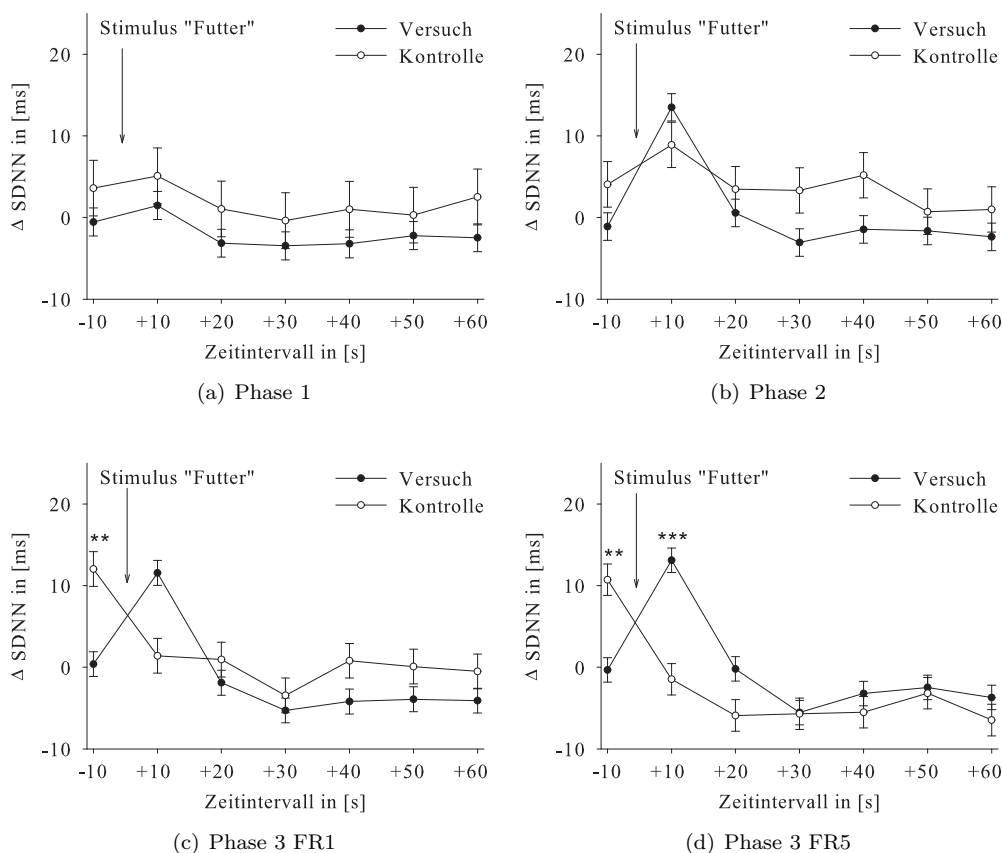


Abb. 3.9: Entwicklung der Reaktion des SDNN-Wertes auf den Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode in Form von Basisdifferenzen; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe: ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

deutlicher Abfall des SDNN-Wertes. Zwischen den Versuchsphasen lagen dabei keine signifikanten Veränderungen vor. Die Zeitintervalle nach der direkten Reaktion auf den Aufruf befanden sich in allen Versuchsphasen auf dem Niveau des Basiswertes.

In der Kontrollgruppe war das Zeitintervall -10 Sekunden vor Beginn der Fütterung in den Versuchsphasen 1 und 2 leicht ($+3.6 \pm 3.4$ bis $+4.1 \pm 2.8$ ms) und in den Phasen 3 FR1 und 3 FR5 deutlich ($+10.7 \pm 1.9$ bis $+12.0 \pm 2.1$ ms) höher als der Basiswert. In Versuchsphase 2 (Abb. 3.9 b) zeigte der SDNN-Wert keine signifikante Reaktion auf den Stimulus „Futter“. In den Versuchsphasen 3 FR1 und 3 FR5 hingegen (Abb. 3.9 c und d) sank er von den erhöhten Werten direkt vor der Fütterung signifikant ab auf das Niveau des Basiswertes und veränderte sich nicht weiter. Deutliche Unterschiede zur Versuchsgruppe traten nur in den Phasen 3 FR1 und 3 FR5 direkt vor dem Stimulus „Futter“ und in Phase 3 FR5 mit dem Stimulus auf.

RMSSD Signifikante Einflüsse auf den RMSSD-Wert während der Versuchsperiode hatten die Versuchsphase ($F_{3,1234} = 13.7$, $P < 0.001$) und die Versuchsphase in Kombination mit der Behandlungsgruppe (Versuchsphase \times Behandlungsgruppe: $F_{3,1229} = 28.9$, $P < 0.001$).

Vor Beginn der Versuchsperiode (Abb. 3.4 c) stieg der RMSSD-Wert nach dem Beginn der Futteraufnahme signifikant an. Während der Versuchsperiode (Abb. 3.10) zeigte der RMSSD-Wert keine signifikante Reaktion auf den Stimulus „Futter“, weder allgemein noch in den beiden Behandlungsgruppen. Dafür traten in den beiden Behandlungsgruppen unterschiedliche Entwicklungen im generellen Niveau des RMSSD-Wertes auf, also ohne Berücksichtigung des Zeitintervalls.

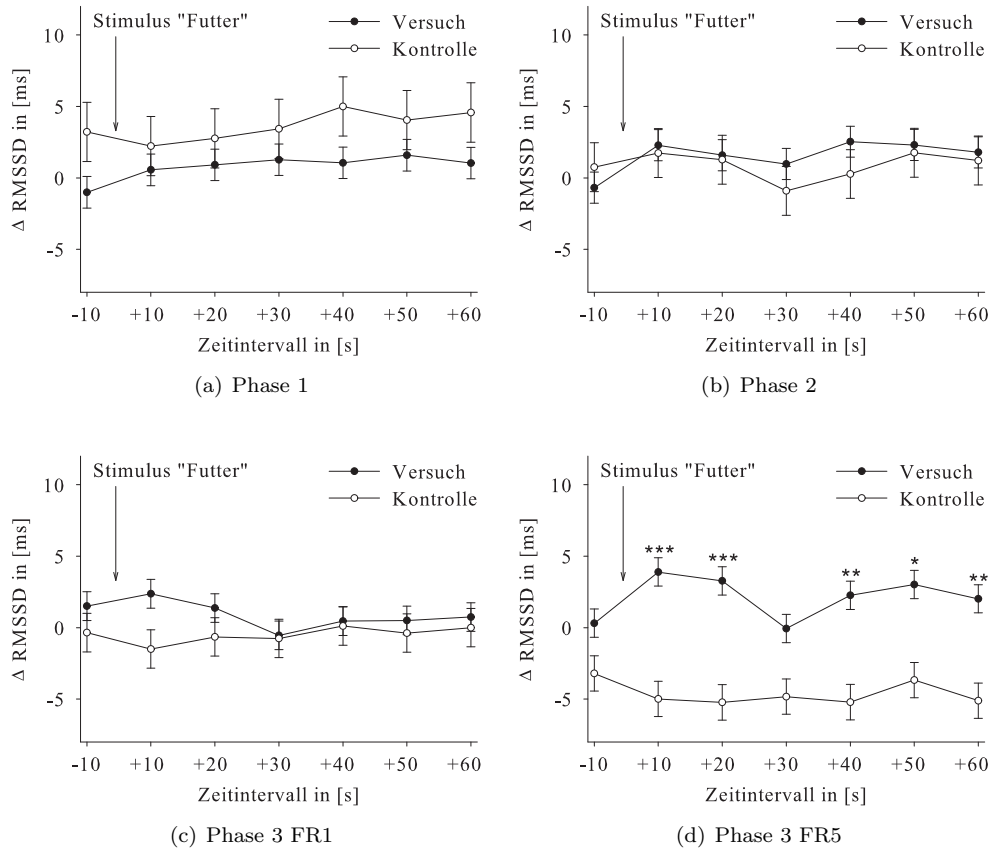


Abb. 3.10: Entwicklung der Reaktion des RMSSD-Wertes auf den Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode in Form von Basisdifferenzen; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe: * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

In der Versuchsgruppe stieg der RMSSD-Wert vom Niveau des Basiswertes in Phase 1 ($+0.8 \pm 0.8$ ms) auf Werte über dem Basiswert in Phase 3 FR5 am Ende der Versuchsperiode ($+2.1 \pm 0.7$ ms) signifikant an ($t_{1219.3} = 3.1$, $P < 0.01$). In der Kontrollgruppe hingegen fiel der RMSSD-Wert von Werten über dem Basiswert in Phase 1 ($+3.6 \pm 1.4$ ms) auf ein Niveau, das deutlich unter dem Basiswert lag in Phase 3 FR5 (-4.6 ± 0.9 ms; $t_{1171.7} = 6.4$, $P < 0.001$). In Phase 3 FR5 (Abb. 3.10 d) unterschieden sich die RMSSD-Werte von Versuchs- und Kontrollgruppe signifikant voneinander ($t_{29.8} = 6.1$, $P < 0.001$).

RMSSD/SDNN Auf das Verhältnis RMSSD/SDNN hatte die Versuchsphase einen signifikanten Einfluss ($F_{3,870.2} = 5.6$, $P < 0.001$) und Versuchsphase \times Behandlungsgruppe tendenzielle Auswirkungen ($F_{3,811.7} = 2.4$, $P < 0.10$).

Vor Beginn der Versuchsperiode (Abb. 3.4 d) stieg das Verhältnis RMSSD/SDNN mit Beginn der Futteraufnahme signifikant an. In Phase 1 der Versuchsperiode zeigte sich bei beiden Behandlungsgruppen ein ähnliches Bild (nur in der Versuchsgruppe signifikant; Abb. 3.11 a). In den übrigen Versuchsphasen (2, 3 FR1 und 3 FR5) unterschied sich das generelle Niveau des Verhältnisses RMSSD/SDNN in der Versuchsgruppe ($+0.16$ bis $+0.19 \pm 0.03$) signifikant von der Kontrollgruppe (-0.13 bis -0.02 ± 0.05). Wie bei den anderen Parametern wies auch das Verhältnis RMSSD/SDNN in der Versuchsgruppe mit den individuellen Aufrufen ab Phase 2 (Abb. 3.11 b) bis zum Ende der Versuchsperiode (Abb. 3.11 c und d) den typischen Verlauf auf, d. h. sprunghafter Abfall und anschließender deutlicher Anstieg des Wertes über den Basiswert.

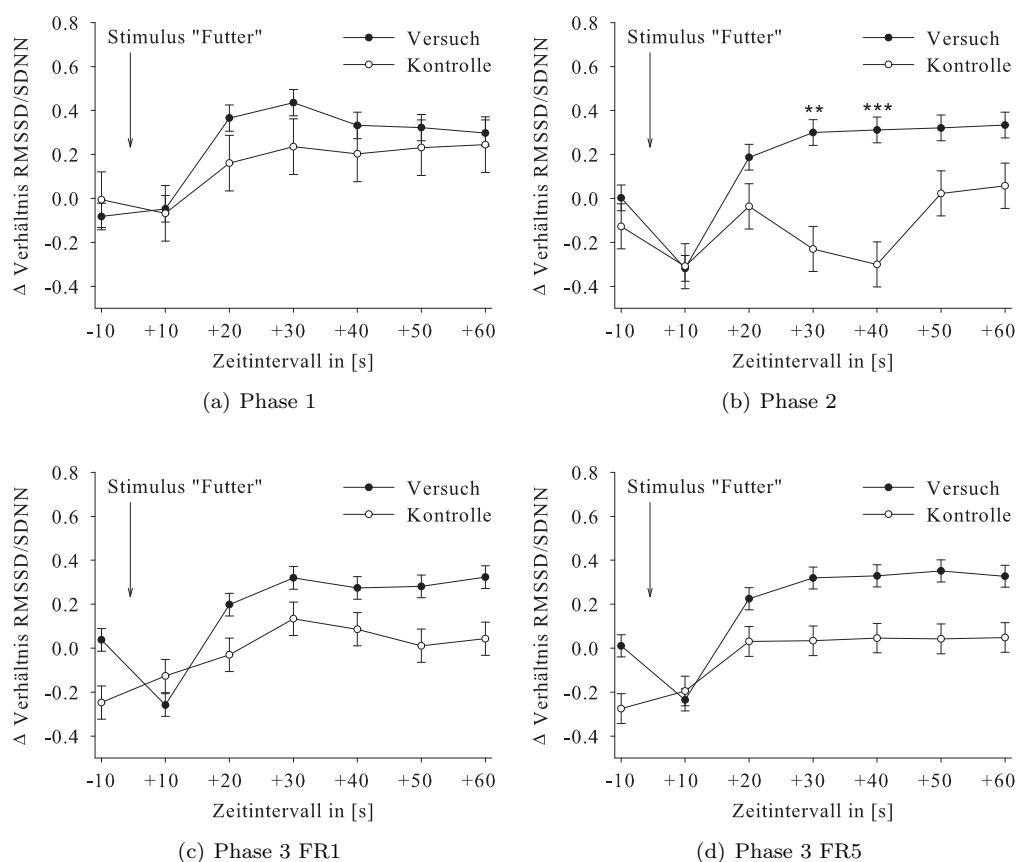


Abb. 3.11: Entwicklung der Reaktion des Verhältnisses RMSSD/SDNN auf den Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode in Form von Basisdifferenzen; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe: ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

In der Kontrollgruppe trat während der gesamten Versuchsperiode im Detail (d.h. in den einzelnen Versuchsphasen unter Berücksichtigung des Zeitintervalls) keine nachweisbare Reaktion auf den Stimulus „Futter“ auf. Es fiel auf, dass sich das RMSSD/SDNN-Verhältnis in der Kontrollgruppe im Zeitintervall -10 Sekunden vor der Platzierung des Futters im Trog im Laufe der Versuchsperiode immer weiter verringerte (Phase 1: -0.01 ± 0.13 , Phase 2: -0.13 ± 0.10 , Phase 3 FR1: -0.25 ± 0.08 , Phase 3 FR5: -0.28 ± 0.07 ; die Unterschiede zwischen den Phasen erwiesen sich im post hoc Vergleich als nicht signifikant).

Entwicklung der Reaktion - Einfluss des Zeitpunktes in der Versuchsgruppe

Analysiert wurden nur die Daten der Versuchsgruppe während der operanten Konditionierung in den Versuchsphasen 2 bis 3 FR5 auf den Einfluss der unterschiedlichen Messzeitpunkte Anfang, Mitte und Ende innerhalb der Versuchsphasen. Der Anfang jeder Versuchsphase (Tag 1 und 2) wies mit durchschnittlich 82 % einen geringeren Lernerfolg auf als die Mitte (Tag 7 und 8) mit ca. 89 % und das Ende (Tag 13 und 14) mit 93 % (siehe Abb. 3.2 im Abschnitt 3.1).

HR Auf die Herzfrequenz (HR) hatte der Zeitpunkt einen signifikanten Einfluss ($F_{2,1039.8} = 16.9$, $P < 0.001$), ebenso die Faktorkombination Zeitpunkt \times Versuchsphase ($F_{4,1040.1} = 8.1$, $P < 0.001$).

Abb. 3.12 zeigt, dass die typische Reaktion der Herzfrequenz auf den individuellen Aufruf, d. h.

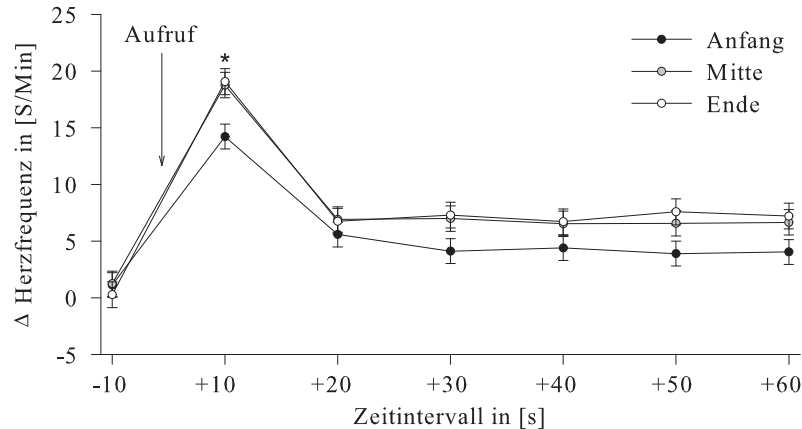


Abb. 3.12: Reaktion der Herzfrequenz in der Versuchsgruppe auf den individuellen Aufruf zu verschiedenen Zeitpunkten (Anfang, Mitte, Ende) innerhalb der Versuchsphasen 2 bis 3 FR5 in 10-Sekunden-Intervallen bis 1 Minute nach Aufruf als Basisdifferenz (LSM \pm SE); signifikante post hoc Unterschiede zwischen den Zeitpunkten Anfang und Mitte/Ende: * = $P < 0.05$.

sprunghafter Anstieg und anschließender deutlicher Rückgang der Herzfrequenz, zu allen Zeitpunkten vorhanden war und am Anfang der Versuchsphasen deutlich schwächer ausgeprägt war, als in der Mitte und am Ende. Unter Berücksichtigung der einzelnen Versuchsphasen wurde deutlich, dass die schwächere Reaktion am Anfang der Versuchsphasen hauptsächlich auf den Anfang der Versuchsphase 2 zurückzuführen war. Zu diesem Zeitpunkt zeigte die Herzfrequenz der Schweine keine signifikante Reaktion auf den erstmaligen individuellen Aufruf. Doch bereits ab Mitte der Phase 2 etablierte sich die signifikante Reaktion auf den Aufruf bis zum Ende der Versuchsperiode über alle Versuchsphasen und Zeitpunkte. Die Differenz zum Basiswert des Zeitintervalls +10 Sekunden, also die Stärke der Reaktion, nahm vom Anfang zum Ende der Phase 2 deutlich zu ($t_{1036.4} = 4.5$, $P < 0.05$), verringerte sich zum Anfang der Phase 3 FR1 nicht signifikant und stieg dann zum Anfang der Phase 3 FR5 wieder signifikant an ($t_{1035.5} = 4.7$, $P < 0.01$).

SDNN Auf den SDNN-Wert der Herzschlagvariabilität hatte der Zeitpunkt allein keinen Einfluss. Erst in Kombination mit dem Faktor Versuchsphase konnte ein tendenzieller (Zeitpunkt \times Versuchsphase: $F_{4,1042.6} = 2.1$, $P < 0.10$) und kombiniert mit dem Zeitintervall ein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden (Zeitpunkt \times Zeitintervall: $F_{12,1033.8} = 3.1$, $P < 0.001$).

Abb. 3.13 (a) zeigt, dass auch bei diesem Parameter die typische Reaktion auf den individuellen Aufruf, d. h. sprunghafter Anstieg und anschließender deutlicher Rückgang des SDNN-Wertes, wie bei der Herzfrequenz zu allen Zeitpunkten vorhanden war und am Anfang der Versuchsphasen deutlich schwächer ausgeprägt war als in der Mitte und am Ende. Unter Berücksichtigung der einzelnen Versuchsphasen wurde deutlich, dass die schwächere Reaktion am Anfang der Versuchsphasen auf den Anfang der Versuchsphasen 2 und 3 FR1 zurückzuführen war. Zu diesen Zeitpunkten zeigte der SDNN-Wert der Schweine nur eine schwache, nicht signifikante Reaktion auf den individuellen Aufruf, dafür aber einen teilweise signifikanten Abfall direkt im Anschluss. Die Differenz zum Basiswert des Zeitintervalls +10 Sekunden, also die Stärke der Reaktion, nahm vom Anfang zum Ende der Phase 2 deutlich zu ($t_{1036.3} = 5.0$, $P < 0.01$) und verringerte sich zum Anfang der Phase 3 FR1 signifikant ($t_{1036.1} = 4.3$, $P < 0.05$). Weitere signifikante Veränderungen traten nicht auf.

RMSSD Auf den RMSSD-Wert der Herzschlagvariabilität hatte weder der Zeitpunkt noch einer der anderen Faktoren in Kombination mit dem Zeitpunkt einen signifikanten Einfluss.

RMSSD/SDNN Das Verhältnis RMSSD/SDNN wurde wieder signifikant vom Zeitpunkt ($F_{2,1045.2} = 3.5, P < 0.05$) sowie von den Faktorkombinationen Zeitpunkt \times Versuchsphase ($F_{4,1045.5} = 6.2, P < 0.001$) und Zeitpunkt \times Zeitintervall ($F_{12,1035} = 2.4, P < 0.01$) beeinflusst.

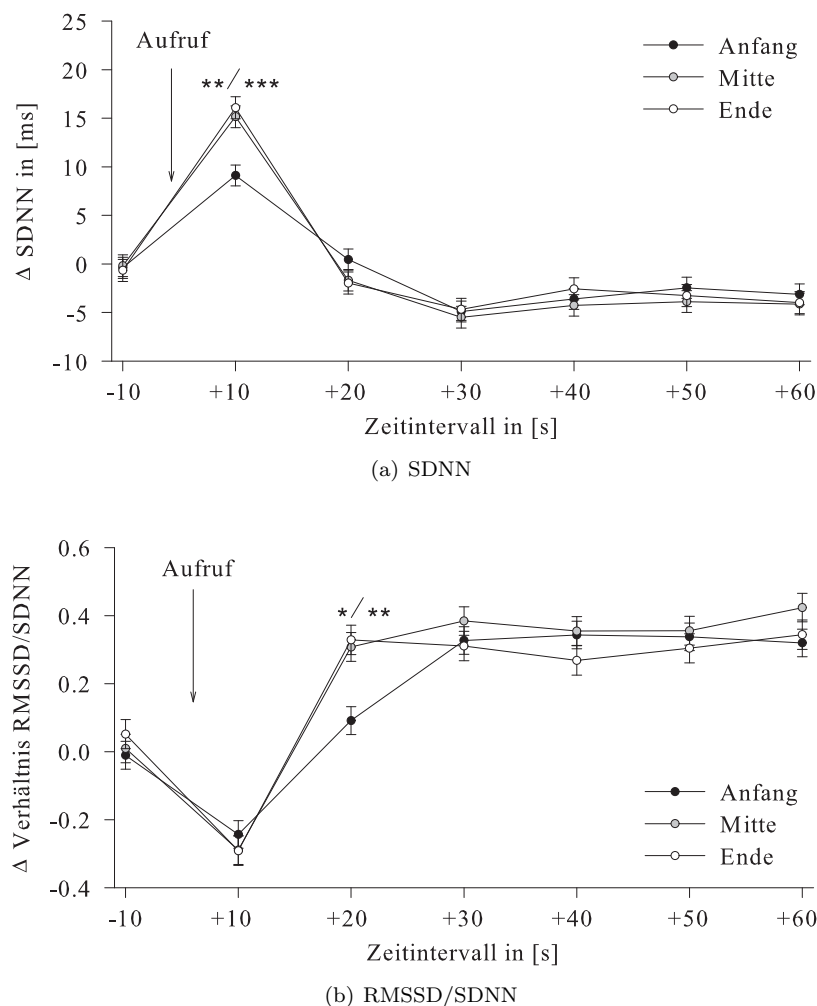


Abb. 3.13: Reaktion des SDNN-Wertes und des Verhältnisses RMSSD/SDNN in der Versuchsgruppe auf den individuellen Aufruf zu verschiedenen Zeitpunkten (Anfang, Mitte, Ende) innerhalb der Versuchsphasen in 10-Sekunden-Intervallen bis 1 Minute nach Aufruf über die Versuchsphasen 2 bis 3 FR5 als Differenz zum Basiswert; signifikante post hoc Unterschiede zwischen den Zeitpunkten Anfang und Mitte/Ende: * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

Abb. 3.13 (b) zeigt, dass auch bei diesem Parameter die typische Reaktion auf den individuellen Aufruf, d. h. sprunghafter Abfall und anschließender deutlicher Anstieg des Verhältnisses RMSSD/SDNN über den Basiswert, zu allen Zeitpunkten vorhanden war. Anders als bei der Herzfrequenz und dem SDNN-Wert traten die Unterschiede zwischen den Zeitpunkten nicht in der direkten Reaktion auf den Aufruf (Zeitintervall +10 Sekunden), sondern danach auf (Zeitintervall +20 Sekunden). Während das Verhältnis RMSSD/SDNN in diesem Zeitintervall am Anfang der Versuchsphasen mit $+0.09 \pm 0.04$ zunächst auf das Niveau des Basiswertes zurückkehrte, lag der Wert in der Mitte und am Ende bereits signifikant über dem Basiswert. Unter Berücksichtigung der einzelnen Versuchsphasen traten zwischen den verschiedenen +20-Sekunden-Intervallen keine signifikanten Unterschiede auf.

Vergleich „Aufruf“ mit „kein Aufruf“ in der Versuchsgruppe

Die bisher analysierten Daten der Versuchsgruppe beinhalteten nur diejenigen Tiere, welche von einem der beiden Ton-Schalter-Futterautomaten aufgerufen wurden. Zusätzlich vorhanden waren aber auch die Daten der übrigen Gruppenmitglieder, die zu dem gleichen Zeitpunkt nicht aufgerufen wurden. Es wurde daher untersucht, ob die beiden Aufrufgruppen (Aufruf vs. kein Aufruf) unterschiedlich auf die individuellen Tonsignale der Ton-Schalter-Futterautomaten reagierten.

HR Die Aufrufgruppe hatte auf die Herzfrequenz (HR) einen hoch signifikanten Einfluss ($F_{1,1871.9} = 419.5$, $P < 0.001$).

Abb. 3.14 (a) zeigt die Veränderung der Herzfrequenz bei den aufgerufenen und den nicht aufgerufenen Tieren nach der Präsentation des individuellen Tonsignals. Dabei zeigten die aufgerufenen Schweine der Versuchsgruppe die typische Reaktion auf ihr individuelles Tonsignal (sprunghafter Anstieg der Herzfrequenz und anschließender signifikanter Abfall), während bei den übrigen, nicht aufgerufenen Mitgliedern der Versuchsgruppe keine Reaktion auf das für sie fremde Tonsignal auftrat. Dieses Bild zeigte sich in allen Versuchsphasen. Des Weiteren war die Herzfrequenz der aufgerufenen Tiere während der Futteraufnahme (Zeitintervall +20 bis +60 Sekunden) deutlich höher als die der nicht aufgerufenen, aber dennoch aktiven Tiere (Abb. 3.14 a). In den einzelnen Versuchsphasen waren solche Unterschiede nur vereinzelt signifikant.

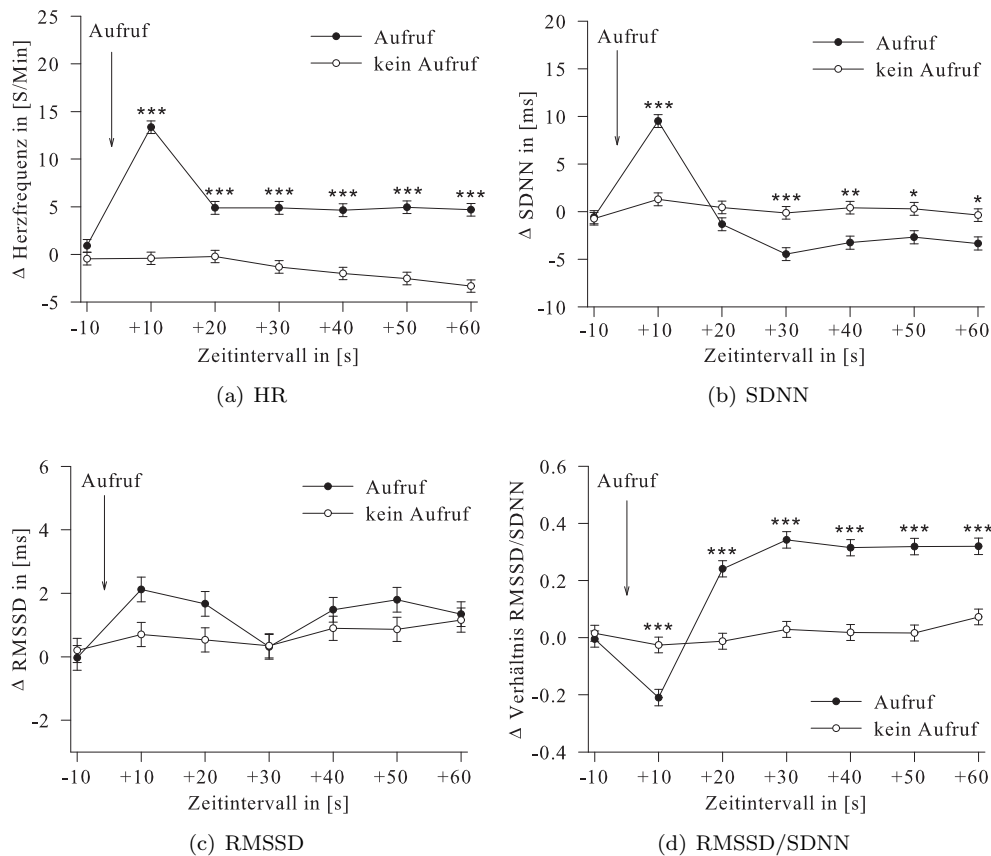


Abb. 3.14: Reaktion der Herzfrequenz und der Parameter der Herzschlagvariabilität in der Versuchsgruppe auf den individuellen Aufruf als Differenz zum Basiswert (LSM \pm SE); signifikante post hoc Unterschiede zwischen gerufenen (Aufruf) und nicht gerufenen (kein Aufruf) Schweinen: * = $P < 0.05$, ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$.

SDNN Auch auf den SDNN-Wert der Herzschlagvariabilität hatte die Aufrufgruppe einen signifikanten Einfluss ($F_{1,1877} = 9.4$, $P < 0.01$).

Abb. 3.14 (b) zeigt die Veränderung des SDNN-Wertes bei den aufgerufenen und den nicht aufgerufenen Tieren nach der Präsentation des individuellen Tonsignals. Dabei zeigten die aufgerufenen Schweine der Versuchsgruppe die typische Reaktion auf ihr individuelles Tonsignal (sprunghafter Anstieg des SDNN-Wertes und anschließender signifikanter Abfall), während bei den übrigen, nicht aufgerufenen Mitgliedern der Versuchsgruppe, keine Reaktion auf das für sie fremde Tonsignal auftrat. Dieses Bild zeigte sich in allen Versuchsphasen. Des Weiteren war der SDNN-Wert der aufgerufenen Tiere während der Futteraufnahme (Zeitintervall +30 bis +60 Sekunden) deutlich niedriger, als der der nicht aufgerufenen Tiere (Abb. 3.14 b). In den einzelnen Versuchsphasen waren solche Unterschiede nur vereinzelt signifikant.

RMSSD Der Einfluss der Aufrufgruppe auf den RMSSD-Wert der Herzschlagvariabilität war ebenfalls signifikant ($F_{1,1878} = 8.7$, $P < 0.01$).

Bei den nicht aufgerufenen Gruppenmitgliedern lagen sowohl allgemein (Abb. 3.14 c) als auch in den einzelnen Versuchsphasen keine signifikanten Reaktionen auf das für sie fremde Tonsignal vor. Die Unterschiede zwischen den aufgerufenen und den nicht aufgerufenen Tieren der Versuchsgruppe zeigten sich nur im generellen Niveau des RMSSD-Wertes. Die aufgerufenen Schweine der Versuchsgruppe wiesen insgesamt einen signifikant höheren RMSSD-Wert auf als die übrigen, nicht aufgerufenen Tiere ($t_{1878} = 2.9$, $P < 0.01$). Unter Berücksichtigung der Versuchsphasen konnte allerdings nur in Versuchsphase 3 FR5 ein signifikanter Unterschied zwischen den aufgerufenen und den nicht aufgerufenen Tieren nachgewiesen werden ($t_{1885.4} = 6.5$, $P < 0.001$).

RMSSD/SDNN Auf das Verhältnis RMSSD/SDNN hatten die Aufrufgruppe ebenfalls einen signifikanten Einfluss ($F_{1,1876.6} = 155.1$, $P < 0.001$).

Abb. 3.14 (d) zeigt die Veränderung des Verhältnisses RMSSD/SDNN bei den aufgerufenen und den nicht aufgerufenen Tieren nach der Präsentation des individuellen Tonsignals. Dabei zeigten die aufgerufenen Schweine der Versuchsgruppe die typische Reaktion auf ihr individuelles Tonsignal (sprunghafter Abfall des Verhältnisses RMSSD/SDNN und anschließender signifikanter Anstieg über den Basiswert), während bei den übrigen, nicht aufgerufenen Mitgliedern der Versuchsgruppe keine Reaktion auf das für sie fremde Tonsignal auftrat. Dieses Bild zeigte sich in allen Versuchsphasen. Des Weiteren war das RMSSD/SDNN-Verhältnis der aufgerufenen Tiere während der Futteraufnahme (Zeitintervall +20 bis +60 Sekunden) deutlich höher, als das der nicht aufgerufenen Tiere (Abb. 3.14 d). In den einzelnen Versuchsphasen waren solche Unterschiede nur vereinzelt signifikant.

3.2.2 Längerfristige Veränderungen — Die Basalwerte

Ausgangswerte - Einfluss der Behandlungsgruppe

Die Analyse der physiologischen Basalwerte (Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im Liegen) vor Beginn der Versuchsperiode, die als Ausgangswerte bezeichnet wurden, ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen, außer bei dem Parameter det/rec (Tab. 3.6). Das Verhältnis von %det zu %rec in der RQA-Analyse war in der Kontrollgruppe höher als in der Versuchsgruppe. Für die Analyse der Basalwertentwicklung während der Versuchsperiode wurden die Differenzen zwischen den Werten während der Versuchsperiode und den Ausgangswerten vor Beginn der Versuchsperiode verwendet.

Tab. 3.6: Basalwerte der Herzfrequenz- und Herzschlagvariabilitäts-Parameter vor Beginn der Versuchsperiode; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe: * = $P < 0.05$.

| Analyse | Parameter | Versuchsgruppe | Kontrollgruppe |
|-----------------|------------|----------------|----------------|
| Zeitbereich | HR | 145.8 ± 3.5 | 145.2 ± 3.6 |
| | SDNN | 19.0 ± 1.6 | 20.3 ± 1.6 |
| | RMSSD | 10.3 ± 1.0 | 10.7 ± 1.0 |
| | RMSSD/SDNN | 0.51 ± 0.03 | 0.55 ± 0.03 |
| Frequenzbereich | LF | 42.4 ± 2.4 | 42.0 ± 2.4 |
| | HF | 15.8 ± 2.3 | 13.4 ± 2.4 |
| | LF/HF | 4.5 ± 0.8 | 5.0 ± 0.8 |
| RQA | %rec | 1.7 ± 0.3 | 1.3 ± 0.3 |
| | %det | 78.2 ± 1.3 | 76.3 ± 1.3 |
| | det/rec | 88.2 ± 12.5 | 115.9 ± 12.6 * |
| | MaxL | 37.0 ± 6.3 | 35.5 ± 6.4 |
| | Entropie | 3.14 ± 0.07 | 3.10 ± 0.07 |
| | trend | -2.6 ± 0.4 | -2.2 ± 0.5 |

Differenzwerte

Zeitbereichs-Analyse

HR Die Entwicklung der Herzfrequenz (HR) verlief während der siebenwöchigen Versuchsperiode in beiden Behandlungsgruppen annähernd gleich (Abb. 3.15). Ein Einfluss der Behandlungsgruppe konnte dabei nicht nachgewiesen werden. Einzig zeitbezogene Faktoren, wie Versuchsphase ($F_{3,188.9} = 34.2$, $P < 0.001$), Zeitpunkt ($F_{1,188.6} = 13.2$, $P < 0.001$) und Versuchsphase \times Zeitpunkt ($F_{3,188.8} = 4.9$, $P < 0.01$), hatten einen signifikanten Einfluss auf die Herzfrequenz. Diese nahm bei den Schweinen allmählich bis zum Ende des Versuches insgesamt um -20.5 ± 2.6 Schläge pro Minute ab.

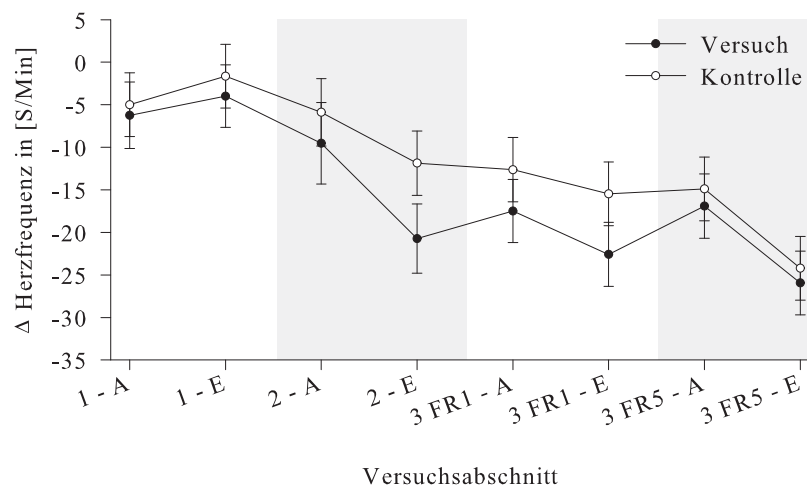


Abb. 3.15: Entwicklung der basalen Herzfrequenz während der Versuchsperiode in Form von Differenzwerten; 1, 2, 3 FR1, 3 FR5 = Versuchsphasen; Versuchsphase 2 und 3 FR5 grau hinterlegt; A, E = Anfang, Ende.

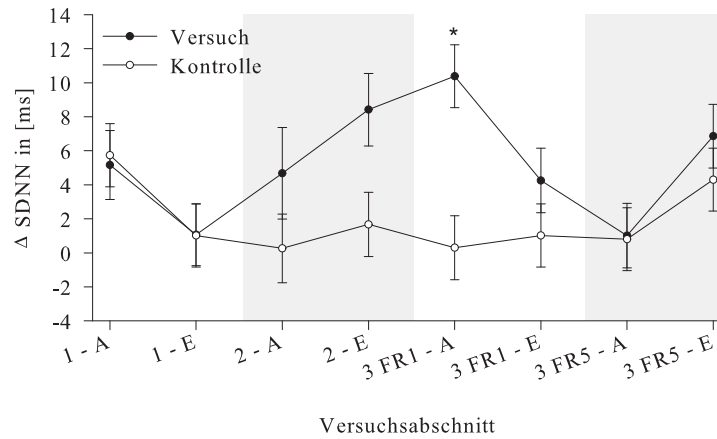
SDNN Ein gänzlich anderes Bild zeigte die Analyse der Herzschlagvariabilität. Die Behandlungsgruppe wies nur tendenziell einen Einfluss auf den SDNN-Wert auf ($F_{1,28.7} = 3.7$, $P < 0.10$), aber in Kombination mit der Versuchsphase (Behandlungsgruppe \times Versuchsphase) lag ein signifikanter Einfluss vor ($F_{3,189.2} = 4.4$, $P < 0.01$). Einziger weiterer Faktor mit signifikantem Einfluss auf den SDNN-Wert war die zeitliche Kombination Versuchsphase \times Zeitpunkt ($F_{3,189.3} = 7.3$, $P < 0.001$). Abb. 3.16 (a) zeigt, dass bei der Kontrollgruppe im Verlauf der Versuchsperiode keine signifikanten Veränderungen beim SDNN-Wert auftraten. Bei der Versuchsgruppe hingegen stieg der SDNN-Wert vom Ende der Versuchsphase 1 zum Anfang der Versuchsphase 3 FR1 signifikant an ($t_{188.2} = 4.4$, $P < 0.01$) und unterschied sich zu diesem Zeitpunkt im post hoc Vergleich mit einer Differenz von 10.1 ± 2.6 ms signifikant von dem der Kontrollgruppe ($t_{119.1} = 3.8$, $P < 0.05$). Zum Anfang der Versuchsperiode 3 FR5 hin sank der SDNN-Wert signifikant ab ($t_{189.1} = 4.3$, $P < 0.01$) und unterschied sich nicht mehr von dem der Kontrollgruppe.

RMSSD Der RMSSD-Wert ließ einen ähnlichen zeitlichen Verlauf erkennen wie der SDNN-Wert (Abb. 3.16 b), allerdings nicht in so ausgeprägter Weise. Die Behandlungsgruppe allein hatte keinen signifikanten Einfluss auf den RMSSD-Wert ($F_{1,10.5} = 1.1$, $P = 0.31$). In Kombination mit den zeitlichen Faktoren Versuchsphase (Behandlungsgruppe \times Versuchsphase: $F_{3,189.9} = 2.4$, $P < 0.10$) und Zeitpunkt innerhalb der Versuchsphasen (Behandlungsgruppe \times Versuchsphase \times Zeitpunkt: $F_{3,189.4} = 2.6$, $P < 0.10$) konnte immerhin ein tendenzieller Einfluss der Behandlungsgruppe nachgewiesen werden. Einziger Faktor mit einem signifikanten Einfluss war die Kombination Versuchsphase \times Zeitpunkt ($F_{3,190} = 4.8$, $P < 0.01$). Im post hoc Vergleich zeigte sich ein deutlicher Anstieg des RMSSD-Wertes vom Ende der Versuchsphase 1 zum Anfang der Versuchsphase 3 FR1 ($t_{188.7} = 3.1$, $P < 0.05$), der auf den signifikanten Anstieg des RMSSD-Wertes bei der Versuchsgruppe in dieser Zeit um 7.4 ± 1.9 ms zurückzuführen war ($t_{188.8} = 3.8$, $P < 0.05$). Vom Anfang der Versuchsphase 3 FR1 zum Anfang der Versuchsphase 3 FR5 sank der RMSSD-Wert in der Versuchsgruppe wieder signifikant ab auf das Niveau der Kontrollgruppe ($t_{189.7} = 4.1$, $P < 0.01$). Wie beim SDNN-Wert veränderte sich auch der RMSSD-Wert der Kontrollgruppe im Verlauf der Versuchsperiode kaum im Vergleich zum Ausgangswert vor Beginn der Versuchsperiode (Differenzwerte nahe 0). Ein Unterschied zwischen den Behandlungsgruppen in den einzelnen Versuchsphasen oder zu bestimmten Zeitpunkten innerhalb der Versuchsphasen konnten im post hoc Vergleich nicht nachgewiesen werden.

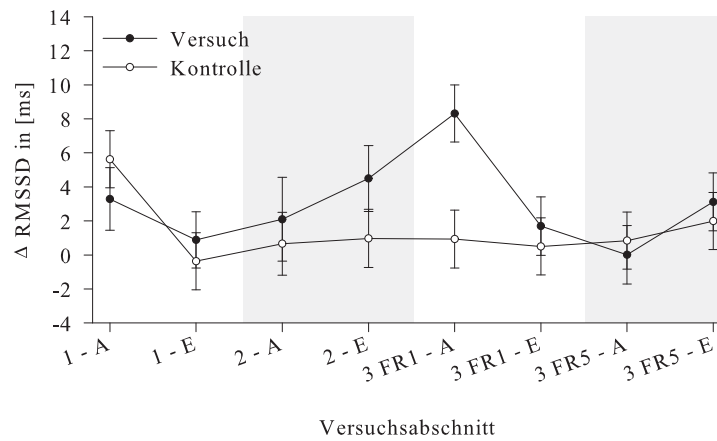
RMSSD/SDNN Keiner der untersuchten Faktoren und Faktorkombinationen hatte einen signifikanten Einfluss auf das Verhältnis RMSSD/SDNN (Abb. 3.16 c). Dieses änderte sich bei beiden Behandlungsgruppen im Verlauf der Versuchsperiode nicht, im Vergleich zu den Ausgangswerten vor Beginn der Versuchsperiode.

Frequenzbereichs-Analyse

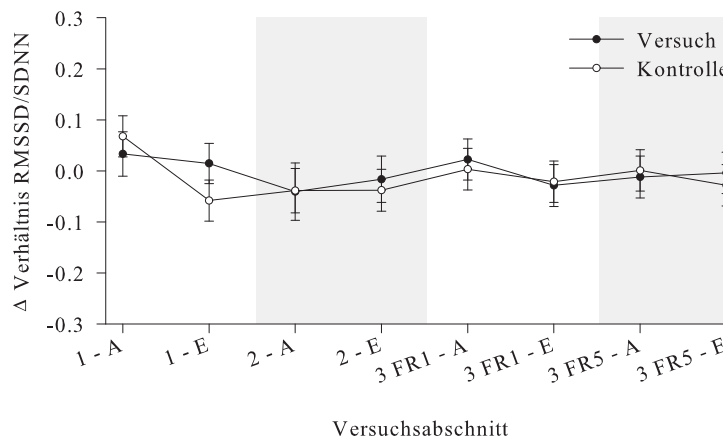
LF Auf die normierte *low-frequency*-Komponente (LF) im Power-Spektrum (Abb. 3.17 a) hatte die Behandlungsgruppe allein keinen signifikanten Einfluss. In Kombination mit den zeitlichen Faktoren Versuchsphase und Zeitpunkt (Behandlungsgruppe \times Versuchsphase \times Zeitpunkt) konnte hingegen ein signifikanter Einfluss der Behandlungsgruppe nachgewiesen werden ($F_{3,188.4} = 2.7$, $P < 0.05$). Weiterer Faktor mit signifikantem Einfluss auf den LF-Wert war die Versuchsphase ($F_{3,188.9} = 2.8$, $P < 0.05$). Im post hoc Vergleich traten einzig zwischen den Versuchsphasen 1 und 3 FR1 signifikante Unterschiede auf ($t_{188.5} = 2.6$, $P < 0.05$), wobei die LF-Werte von zunächst negativen Differenzen in Versuchsphase 1 (-1.7 ± 2.1), also einem Abfall im Vergleich zu den Ausgangswerten vor Beginn der Versuchsperiode, in Versuchsphase 3 FR1 in den positiven Bereich wechselten ($+2.5 \pm 2.0$; relativer Anstieg verglichen mit den Ausgangswerten). Trotz vorliegender Signifikanz sind die Veränderungen sehr gering. Im Falle der Faktorkombination Behandlungsgruppe \times Versuchsphase \times Zeitpunkt traten im post hoc Test keine signifikanten Unterschiede auf.



(a) SDNN



(b) RMSSD



(c) RMSSD/SDNN

Abb. 3.16: Entwicklung der Basalwerte von SDNN, RMSSD und RMSSD/SDNN während der Versuchsperiode in Form von Differenzwerten; 1, 2, 3 FR1, 3 FR5 = Versuchsphasen; Versuchsphase 2 und 3 FR5 grau hinterlegt; A, E = Anfang, Ende; signifikanter Unterschied im post hoc Vergleich zwischen den Behandlungsgruppen: * = $P < 0.05$.

HF Auch auf die normierte *high-frequency*-Komponente (HF) des Power-Spektrums (Abb. 3.17 b) hatte die Behandlungsgruppe allein keinen Einfluss. In Kombination mit der Versuchsphase und dem Zeitpunkt (Behandlungsgruppe \times Versuchsphase \times Zeitpunkt) konnte ein tendenzieller Einfluss der Behandlungsgruppe nachgewiesen werden ($F_{3,188.8} = 2.1$, $P < 0.10$). Faktoren mit signifikantem Einfluss auf den HF-Wert waren die Versuchsphase ($F_{3,189.2} = 5.3$, $P < 0.01$) und der Zeitpunkt ($F_{1,188.9} = 8.3$, $P < 0.01$). Dabei unterschied sich im post hoc Vergleich die Versuchsphase 1 signifikant von allen anderen Versuchsphasen und der Zeitpunkt Anfang vom Ende ($t_{188.9} = 2.9$, $P < 0.01$). Auch die Faktorkombination Behandlungsgruppe \times Versuchsphase \times Zeitpunkt zeigte im post hoc Vergleich einzelne signifikante Unterschiede. Dabei fiel auf, dass jedes Mal Unterschiede zum Anfang der Versuchsphase 1 in der Kontrollgruppe auftraten. In Abb. 3.17 (b) fällt dieser Zeitpunkt in der Kontrollgruppe mit stark erhöhten Differenzwerten um $+11.1 \pm 2.9$ auf, der sich zwar nicht signifikant von dem entsprechenden Zeitpunkt der Versuchsgruppe unterschied, worauf aber vermutlich sämtliche signifikanten Unterschiede und Einflüsse zurückzuführen sind.

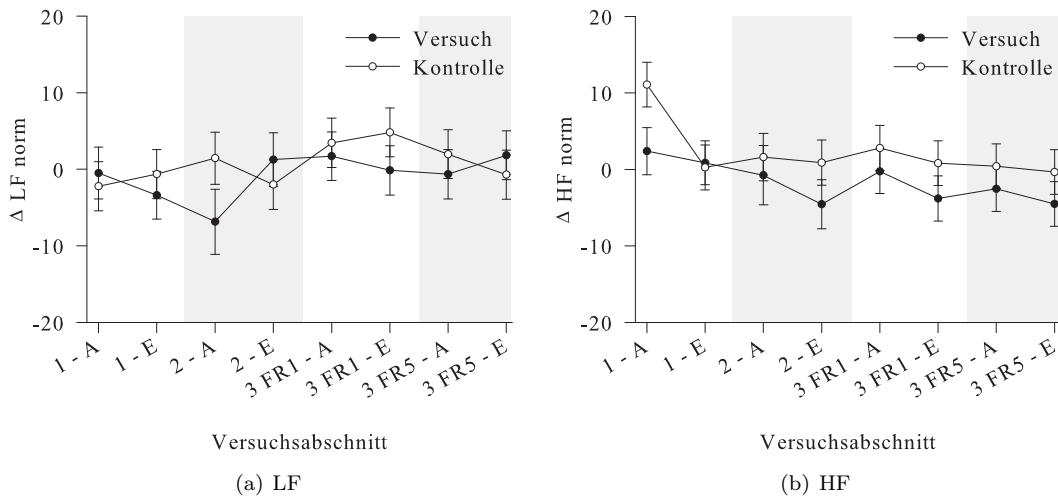


Abb. 3.17: Entwicklung der Basalwerte der LF- und HF-Komponenten des Power-Spektrums während der Versuchsperiode in Form von Differenzwerten; 1, 2, 3 FR1, 3 FR5 = Versuchsphasen; Versuchsphase 2 und 3 FR5 grau hinterlegt; A, E = Anfang, Ende.

LF/HF Auf das Verhältnis LF/HF (Abb. 3.18) hatte die Behandlungsgruppe ebenfalls keinen Einfluss, weder allein noch in Kombination mit zeitbezogenen Faktoren. Letztere wiesen dagegen einen signifikanten Einfluss auf den Parameter auf (Versuchsphase: $F_{3,190.7} = 4.7$, $P < 0.01$; Zeitpunkt: $F_{1,190.1} = 5.0$, $P < 0.05$).

Im post hoc Vergleich traten signifikante Unterschiede auf zwischen Versuchsphase 1 und Versuchsphase 3 FR5 ($t_{190.1} = 3.7$, $P < 0.01$) sowie zwischen den Zeitpunkten Anfang und Ende ($t_{190.1} = 2.2$, $P < 0.05$). In Abb. 3.18 fällt das Ende der Versuchsphase 3 FR5 in der Versuchsgruppe mit erhöhten Differenzwerten um $+6.6 \pm 1.5$ auf. Dieser Zeitpunkt unterschied sich nicht signifikant von dem entsprechenden der Kontrollgruppe, hatte vermutlich aber einen großen Anteil an den beschriebenen signifikanten Einflüssen und Unterschieden.

RQA

Die Analyse der Daten im nichtlinearen Bereich zeigte nur einen geringen Einfluss des Versuchsaufbaus auf die deterministische Dynamik der RR-Intervalle.

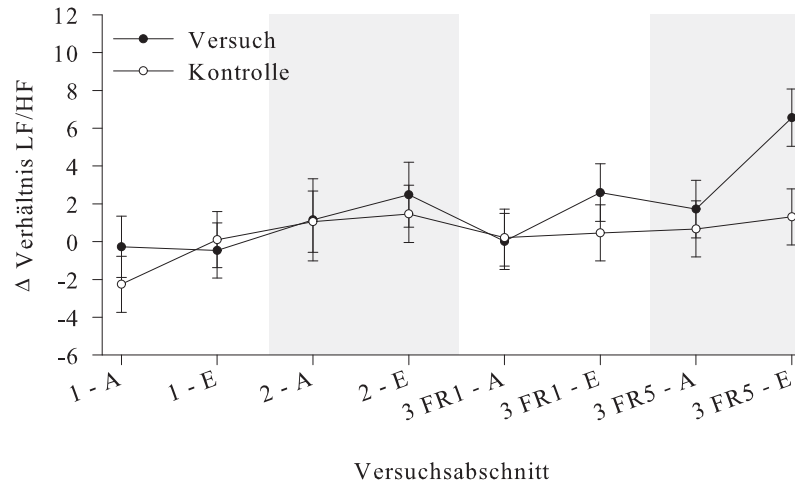


Abb. 3.18: Entwicklung des basalen LF/HF-Verhältnisses während der Versuchsperiode in Form von Differenzwerten; 1, 2, 3 FR1, 3 FR5 = Versuchsphasen; Versuchsphase 2 und 3 FR5 grau hinterlegt; A, E = Anfang, Ende.

%rec Keiner der Faktoren des statistischen Modells hatte signifikante Auswirkungen auf den %rec-Wert (Abb. 3.19 a). Die Veränderungen bezüglich der Ausgangswerte waren sehr gering und es traten keine Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen auf.

%det Im Fall des Parameters %det (Abb. 3.19 b) hatte einzig die Versuchsphase einen tendenziellen Einfluss ($F_{3,189.3} = 2.6$, $P < 0.10$). Im post hoc Vergleich traten keine signifikanten Unterschiede auf.

det/rec Während die beiden eben beschriebenen Parameter %rec und %det einzeln kaum Veränderungen aufwiesen, hatte auf das Verhältnis der Parameter zueinander (det/rec; Abb. 3.19 c) die Behandlungsgruppe einen signifikanten Einfluss ($F_{1,12.8} = 6.5$, $P < 0.05$). Im Vergleich zu den Ausgangswerten waren die Werte der Kontrollgruppe während des Versuches mit -35.3 ± 12.4 insgesamt verringert. In der Versuchsgruppe hingegen wichen die Daten kaum vom Ausgangswert ab (-6.5 ± 12.4).

MaxL Auf den Parameter MaxL (Abb. 3.19 d) hatte die Behandlungsgruppe in Kombination mit der Versuchsphase einen signifikanten Einfluss (Behandlungsgruppe \times Versuchsphase; $F_{3,190.4} = 3.1$, $P < 0.05$) sowie die Versuchsphase allein ($F_{3,190.8} = 3.2$, $P < 0.05$). Im post hoc Vergleich wies die Versuchsphase 2 mit $+26.7 \pm 7.3$ insgesamt höhere Werte auf als die Phase 3 FR1 mit $+4.6 \pm 6.1$ ($t_{192} = 2.9$, $P < 0.05$) und die Phase 3 FR5 mit $+5.8 \pm 6.1$ ($t_{192.3} = 2.7$, $P < 0.05$). Zusätzlich deutete die statistische Analyse in der Versuchsgruppe einen Anstieg der Werte von Phase 1 zu Phase 2 an ($t_{191.3} = 3.0$, $P < 0.10$).

Entropie Die Versuchsphase war der einzige Faktor, der die Entropie (Abb. 3.19 e) der Basalwerte beeinflusste ($F_{3,189.4} = 3.6$, $P < 0.05$). Wie bei MaxL lagen die Werte der Versuchsphase 2 mit $+0.19 \pm 0.08$ zwar geringfügig aber dennoch signifikant höher als in Phase 3 FR1 mit $+0.007 \pm 0.07$ ($t_{190.3} = 2.7$, $P < 0.05$) und Phase 3 FR5 mit $+0.01 \pm 0.07$ ($t_{190.6} = 2.6$, $P < 0.05$).

trend Die Behandlungsgruppe hatte in Kombination mit der Versuchsphase (Behandlungsgruppe \times Versuchsphase) einen tendenziellen Einfluss auf den Parameter trend (Abb. 3.19 f; $F_{3,189} = 2.3$, $P < 0.10$). Im post hoc Vergleich traten keine signifikanten Unterschiede auf.

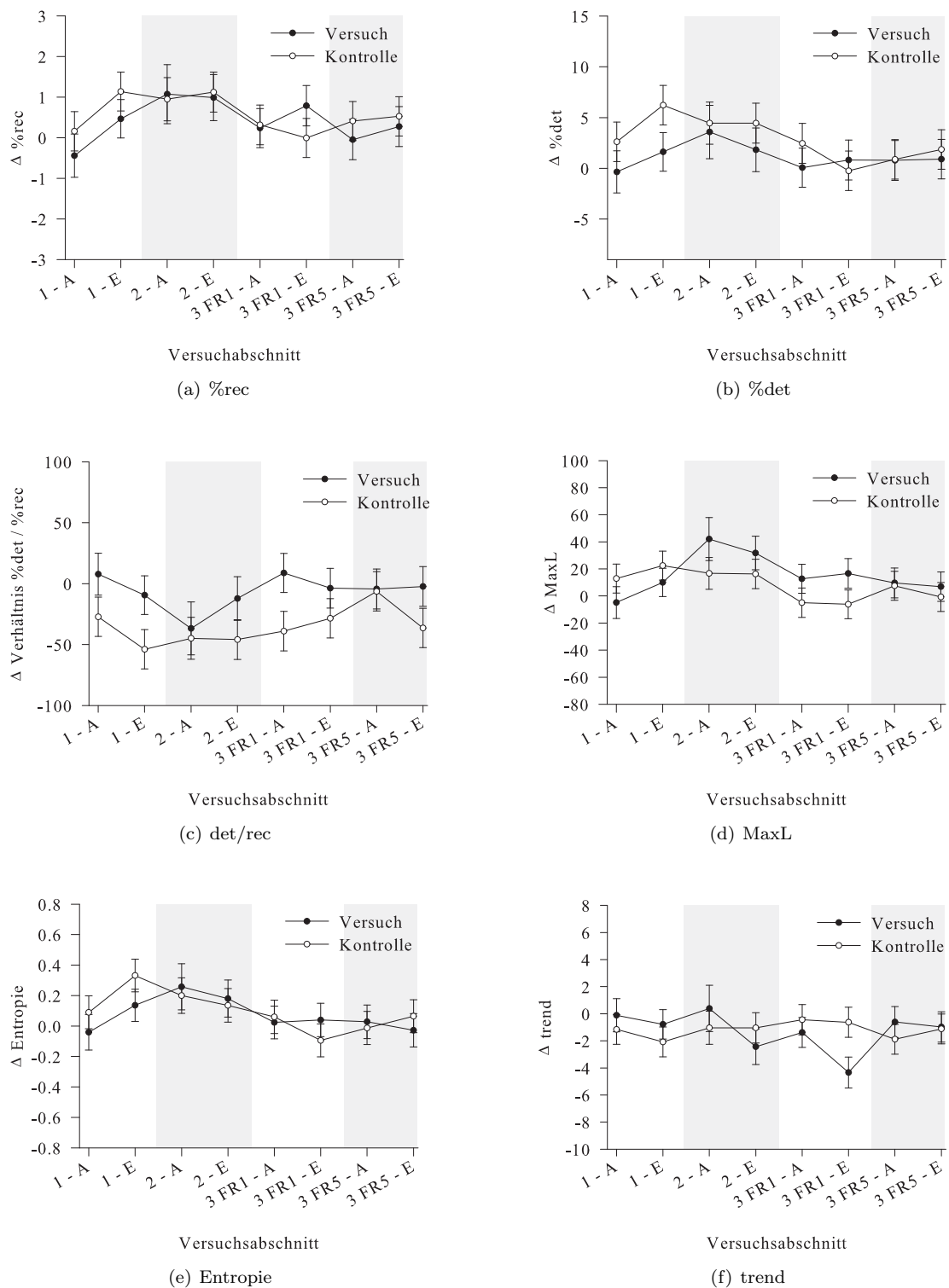


Abb. 3.19: Entwicklung der Basalwerte der RQA-Parameter während der Versuchsperiode in Form von Differenzwerten; 1, 2, 3 FR1, 3 FR5 = Versuchsphasen; Versuchsphase 2 und 3 FR5 grau hinterlegt; A, E = Anfang, Ende.

3.3 Verhaltenstest

3.3.1 Verhalten

Ausgangswerte - Einfluss der Behandlungsgruppe

Im 1. *open field / novel object* Test vor Beginn der Versuchsperiode hatte die Behandlungsgruppe auf einige Parameter einen signifikanten Einfluss, obwohl die Haltungsbedingungen für beide Behandlungsgruppen bis zu diesem Zeitpunkt gleich gewesen waren (Tab. 3.7). Die Behandlungsgruppe hatte einen signifikanten Einfluss auf folgende Parameter: Lokomotion (Häufigkeit: $F_{1,41} = 10.7$, $P < 0.01$; Latenz: $F_{1,41} = 4.8$, $P < 0.05$; Gesamtdauer: $F_{1,23} = 4.5$, $P < 0.05$; mittlere Dauer: $F_{1,41} = 5.0$, $P < 0.05$), Exkretion (Gesamtdauer: $F_{1,23} = 6.1$, $P < 0.05$; mittlere Dauer: $F_{1,23} = 6.4$, $P < 0.05$), Wandkontakt (Gesamtdauer: $F_{1,23} = 4.6$, $P < 0.05$), Objektannäherung (mittlere Dauer: $F_{1,41} = 4.5$, $P < 0.05$), keine Vokalisation (Häufigkeit: $F_{1,23} = 7.6$, $P < 0.05$).

Tab. 3.7: Signifikanter Einfluss der Behandlungsgruppe auf die Absolutwerte einiger Verhaltensweisen im ersten kombinierten *open field / novel object* Test vor Beginn der Versuchsperiode; dargestellt sind signifikante post hoc Unterschiede zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe mit $P < 0.05$.

| Parameter | Größe | Versuchsgruppe | Kontrollgruppe |
|--------------------|----------------|------------------|------------------|
| Lokomotion | Häufigkeit | 49.8 ± 3.1 | 63.9 ± 3.1 |
| | Latenz | 6.6 ± 1.4 | 11.1 ± 1.4 |
| | Gesamtdauer | 206.8 ± 10.2 | 232.8 ± 10.2 |
| | mittlere Dauer | 4.6 ± 0.2 | 3.9 ± 0.2 |
| Exkretion | Gesamtdauer | 35.8 ± 4.6 | 50.6 ± 4.6 |
| | mittlere Dauer | 6.3 ± 0.6 | 8.2 ± 0.6 |
| Wandkontakt | Gesamtdauer | 27.6 ± 3.5 | 18.6 ± 3.5 |
| Objektannäherung | mittlere Dauer | 2.1 ± 0.2 | 2.9 ± 0.2 |
| keine Vokalisation | Häufigkeit | 80.1 ± 4.8 | 97.2 ± 4.8 |

Absolutwerte

Die Auswertung der Absolutwerte der beobachteten Verhaltensweisen im externen, wiederholten, kombinierten *open field / novel object* Test wies bei der überwiegenden Anzahl der Parameter einen signifikanten Einfluss der Testwiederholung nach (Tab. 3.8; vergl. Tab. A.1 im Anhang). So nahm z.B. die allgemeine Aktivität der Tiere und die Annäherung an das *novel object* mit der Wiederholung des Tests ab (Gesamtdauer Lokomotion in s: $F_{2,68.3} = 7.1$, $P < 0.01$; Gesamtdauer Stehen in s: $F_{2,67} = 9.8$, $P < 0.001$; Häufigkeit Objektannäherung: $F_{2,69.3} = 37.9$, $P < 0.001$; Gesamtdauer Objektannäherung in s: $F_{2,69.6} = 62.5$, $P < 0.001$), während die Vokalisation, der Wandkontakt, die Exkretion und der Kontakt zum *novel object* zunahmen (Gesamtdauer Grunzen: $F_{2,70.6} = 23.7$, $P < 0.001$; Häufigkeit Wandkontakt: $F_{2,71.1} = 3.6$, $P < 0.05$; Gesamtdauer Wandkontakt: $F_{2,71.2} = 3.9$, $P < 0.05$; Häufigkeit Exkretion: $F_{2,70} = 5.2$, $P < 0.01$; Latenz Exkretion: $F_{2,71.2} = 5.3$, $P < 0.01$; Gesamtdauer Exkretion: $F_{2,70.8} = 3.6$, $P < 0.05$; Gesamtdauer Objektkontakt: $F_{2,70.5} = 7.0$, $P < 0.01$; Latenz Objektkontakt: $F_{2,62.4} = 10.9$, $P < 0.001$).

Bei einigen Parametern hatte auch die Behandlungsgruppe einen signifikanten Einfluss auf die Ausprägung der Verhaltensweisen (Zusammenfassung der Effekte in Tab. 3.8). Die Versuchsgruppe kontaktierte häufiger, schneller und länger die Arenabegrenzung (Häufigkeit Wandkontakt: $F_{1,18.1} = 9.2$, $P < 0.01$; Latenz Wandkontakt in s: $F_{1,17.9} = 5.5$, $P < 0.05$; Gesamtdauer Wandkontakt in s: $F_{1,18.3} = 14.6$, $P < 0.01$; mittlere Dauer Wandkontakt in s: $F_{1,18.2} = 15.2$, $P < 0.01$), vokalisierte im Durchschnitt länger (mittlere Dauer Grunzen: $F_{1,27.3} = 4.4$, $P < 0.05$), zeigte weniger Exkretion (Gesamtdauer Exkretion in s: $F_{1,36} = 8.9$, $P < 0.01$; mittlere Dauer Exkretion in

s: $F_{1,17.2} = 8.6$, $P < 0.01$) und weniger allgemeine Aktivität als die Kontrollgruppe (Gesamtdauer Lokomotion in s: $F_{1,17.5} = 11.1$, $P < 0.01$; mittlere Dauer Stehen in s: $F_{1,15.9} = 4.7$, $P < 0.05$). Zwar berührten die Tiere der Versuchsgruppe das unbekannte Objekt seltener als die Tiere der Kontrollgruppe (Häufigkeit Objektkontakt: $F_{1,35.4} = 7.0$, $P < 0.05$) dafür näherten sie sich häufiger daran an (Häufigkeit Objektannäherung: $F_{1,18.2} = 5.4$, $P < 0.05$) und beschäftigten sich im Mittel länger damit (mittlere Dauer Objektkontakt in s: $F_{1,18.1} = 10.2$, $P < 0.01$).

Tab. 3.8: Einfluss der Testwiederholung und der Behandlungsgruppe auf die Absolut- (Absolut) und Differenzwerte (Differenz) verschiedener Verhaltensweisen im wiederholten, kombinierten *open field* / *novel object* Test; dargestellt sind signifikante post hoc Veränderungen im Verlauf der Testwiederholungen und signifikante post hoc Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen; die Pfeile geben die Richtung der Veränderung im Laufe der Testwiederholungen und signifikante Unterschiede der Versuchsgruppe bezüglich der Kontrollgruppe an mit $P < 0.05$.

| Parameter | Größe | Einfluss von | | | |
|------------------|----------------|------------------|-----------|-------------------|-----------|
| | | Testwiederholung | | Behandlungsgruppe | |
| | | Absolut | Differenz | Absolut | Differenz |
| Lokomotion | Häufigkeit | ↓ | | ↓ | |
| | Gesamtdauer | ↓ | ↓ | ↓ | |
| Stehen | Häufigkeit | ↑ | | | |
| | Gesamtdauer | ↑ | | | |
| | mittlere Dauer | | | | ↑ |
| Exkretion | Häufigkeit | ↑ | | | |
| | Latenz | ↓ | | | |
| | Gesamtdauer | ↑ | ↑ | ↓ | |
| | mittlere Dauer | ↑ | ↑ | ↓ | |
| Wandkontakt | Häufigkeit | ↑ | ↑ | ↑ | |
| | Latenz | | | ↓ | |
| | Gesamtdauer | ↑ | ↑ | ↑ | |
| | mittlere Dauer | | | ↑ | |
| Grunzen | Häufigkeit | ↑ | | | ↓ |
| | Gesamtdauer | ↑ | | | |
| | mittlere Dauer | ↑ | | ↑ | |
| Objektannäherung | Häufigkeit | ↓ | | ↑ | |
| | Gesamtdauer | ↓ | ↓ | | |
| | mittlere Dauer | ↓ | ↓ | | ↓ |
| Objektkontakt | Häufigkeit | | | ↓ | |
| | Latenz | ↓ | | | |
| | Gesamtdauer | ↑ | | | |
| | mittlere Dauer | ↑ | | ↑ | ↑ |

Differenzwerte

Die Berechnung der Differenzwerte (Differenz zwischen 2. bzw. 3. Testwiederholung und dem 1. Verhaltenstest) sollte die von Anfang an vorhandenen Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen ausgleichen und gegebenenfalls Unterschiede in der Habituation der beiden Behandlungsgruppen nachweisen. Die Analyse ermittelte wenige signifikante Einflüsse, sowohl von der Testwiederholung, von der Behandlungsgruppe, als auch von Behandlungsgruppe \times Testwiederholung (Tab. 3.8; vergl. Tab. A.2 im Anhang).

Die Testwiederholung hatte einen signifikanten Einfluss auf: Lokomotion (Gesamtdauer: $F_{1,35} = 5.8$, $P < 0.05$), Wandkontakt (Häufigkeit: $F_{1,35} = 4.9$, $P < 0.05$; Gesamtdauer: $F_{1,35} = 5.5$, $P < 0.05$), Objektannäherung (Gesamtdauer: $F_{1,35} = 18.8$, $P > 0.001$; mittlere Dauer: $F_{1,35} = 7.9$, $P < 0.01$) und Exkretion (Gesamtdauer: $F_{1,35} = 6.4$, $P < 0.05$; mittlere Dauer: $F_{1,35} = 7.3$, $P < 0.05$).

Die Behandlungsgruppe hatte einen signifikanten Einfluss auf: Grunzen (Häufigkeit: $F_{1,35} = 5.2$, $P < 0.05$), Objektannäherung (mittlere Dauer: $F_{1,35} = 8.5$, $P < 0.01$) und Objektkontakt (mittlere Dauer in s: $F_{1,18.2} = 7.2$, $P < 0.05$). Die Häufigkeit von Grunzen nahm bei beiden Behandlungsgruppen allgemein zu, bei der Kontrollgruppe aber deutlich stärker als bei der Versuchsgruppe. Die mittlere Dauer der Objektannäherung nahm bei der Kontrollgruppe stärker ab als bei der Versuchsgruppe, während die Versuchsgruppe eine signifikant größere Zunahme der mittleren Kontaktdauer mit dem unbekanntem Objekt aufwies.

Ein signifikanter Einfluss des Effektes Behandlungsgruppe \times Testwiederholung zeigte Unterschiede in der Habituation zwischen den Behandlungsgruppen an. Dies lag vor bei den Parametern: Lokomotion (Latenz: $F_{1,35} = 6.0$, $P < 0.05$; Gesamtdauer: $F_{1,35} = 5.8$, $P < 0.05$) und Objektkontakt (Latenz: $F_{1,35} = 5.0$, $P < 0.05$). Die Latenz der Lokomotion zeigte bei der Versuchsgruppe im post hoc Test eine signifikante Zunahme, während sie bei der Kontrollgruppe unverändert blieb. Bei der Kontrollgruppe lag dagegen im post hoc Test eine deutliche Verringerung der Gesamtdauer der Lokomotion vor, die bei der Versuchsgruppe keine weiteren Veränderungen aufwies. Die Latenz des Objektkontaktes wies bei den Behandlungsgruppen gegenläufige Entwicklungen auf (Abnahme der Latenz bei der Versuchsgruppe, Zunahme der Latenz bei der Kontrollgruppe), die im post hoc Test allerdings nicht signifikant waren.

3.3.2 Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität

Ausgangswerte - Einfluss der Behandlungsgruppe und des Testabschnittes

In Tab. 3.9 sind die Ausgangswerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität von der Versuchs- und der Kontrollgruppe im ersten *open field / novel object* Test kurz vor Beginn der Versuchsperiode dargestellt. Es zeigte sich, dass nur bei 2 von 13 Parametern im ersten Verhaltenstest Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen auftraten.

Bei einigen Parametern hatte auch der Testabschnitt (*open field* vs. *novel object*) einen signifikanten Einfluss (Tab. 3.9). So führte die Präsentation des unbekanntem Objektes nach 5 Minuten Testzeit bei den Schweinen im Allgemeinen zu einem Anstieg des SDNN-Wertes ($F_{1,27} = 9.9$, $P < 0.01$), des HF-Wertes ($F_{1,27} = 5.4$, $P < 0.05$) und des Verhältnisses det/rec ($F_{1,27} = 23.5$, $P < 0.001$) sowie zu einem Absinken des LF-Wertes ($F_{1,27} = 8.7$, $P < 0.01$).

Absolutwerte - Einfluss der Testwiederholung, des Testabschnittes und der Behandlungsgruppe

Die Analyse der Absolutwerte aller drei Testwiederholungen zeigte vorrangig einen signifikanten Einfluss der Testwiederholung bei fast allen Parametern (Tab. 3.10). Die Herzfrequenz sank mit Wiederholung des Verhaltenstests ($F_{2,161.6} = 278.1$, $P < 0.001$), während die übrigen Parameter der Zeitbereichs-Analyse anstiegen (SDNN: $F_{2,178.5} = 42.7$, $P < 0.001$; RMSSD: $F_{2,173.6} = 52.3$, $P < 0.001$; RMSSD/SDNN: $F_{2,178.9} = 5.9$, $P < 0.01$). Bei der Frequenzbereichs-Analyse zeigte nur die *low-frequency*-Komponente der Spektralanalyse signifikante Veränderungen (LF: $F_{2,180.1} = 5.5$, $P < 0.01$). In der RQA wiesen wieder alle Parameter deutliche Veränderungen mit der Wiederholung des Verhaltenstests auf. Dabei stieg das Verhältnis det/rec an ($F_{2,180.1} = 4.6$, $P < 0.05$) und die übrigen Parameter sanken ab (%rec: $F_{2,179.8} = 26.3$, $P < 0.001$; %det: $F_{2,180} = 14.7$, $P < 0.001$; MaxL: $F_{2,180.5} = 13.4$, $P < 0.001$; Entropie: $F_{2,180.1} = 28.7$, $P < 0.001$; trend: $F_{2,180} = 6.4$, $P < 0.01$).

Der Testabschnitt hatte dagegen kaum Auswirkungen auf die Absolutwerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität (Tab. 3.10). Der LF-Wert sank wie beim ersten Verhaltenstest vom *open field*- zum *novel object*-Abschnitt ($F_{1,158} = 12.0$, $P < 0.001$), während der Anstieg des SDNN-Wertes über alle Testwiederholungen nur noch in Tendenzen vorlag ($F_{1,154} = 3.5$, $P < 0.10$).

Tab. 3.9: Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im ersten *open field / novel object* Test; signifikante post hoc Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe: ** = $P < 0.01$, *** = $P < 0.001$; signifikanter Einfluss des Testabschnittes: die Pfeile geben die Richtung der Veränderung vom *open field* zum *novel object* Abschnitt an: \uparrow = signifikanter Anstieg mit $P < 0.05$ im post hoc Vergleich, \downarrow = signifikanter Abfall mit $P < 0.05$ im post hoc Vergleich.

| Analyse | Parameter | Versuchs- gruppe | Kontroll- gruppe | Einfluss Testabschnitt |
|-----------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Zeitbereich | HR | 160.4 \pm 3.4 | 161.3 \pm 2.9 | |
| | SDNN | 29.1 \pm 1.9 | 28.8 \pm 1.6 | \uparrow |
| | RMSSD | 8.9 \pm 0.8 | 9.0 \pm 0.7 | |
| | RMSSD/SDNN | 0.33 \pm 0.02 | 0.31 \pm 0.01 | |
| Frequenzbereich | LF | 47.8 \pm 2.2 | 46.7 \pm 1.9 | \downarrow |
| | HF | 4.0 \pm 0.3 | 2.7 \pm 0.2 ** | \uparrow |
| | LF/HF | 18.7 \pm 2.1 | 19.9 \pm 1.8 | |
| RQA | %rec | 7.0 \pm 0.8 | 6.0 \pm 0.7 | |
| | %det | 88.9 \pm 1.6 | 89.3 \pm 1.3 | |
| | det/rec | 39.7 \pm 3.9 | 19.8 \pm 3.3 *** | \uparrow |
| | MaxL | 109.1 \pm 17.2 | 106.9 \pm 14.7 | |
| | Entropie | 3.8 \pm 0.1 | 3.8 \pm 0.1 | |
| | trend | -11.2 \pm 2.2 | -10.1 \pm 1.9 | |

Die Behandlungsgruppe schließlich hatte nur auf einen Parameter Auswirkungen und dies auch nur tendenziell (Tab. 3.10). So war der HF-Wert der Versuchsgruppe etwas höher als in der Kontrollgruppe ($F_{1,20,2} = 3.1$, $P < 0.10$). Aus den post hoc-Vergleichen ging hervor, dass dieser tendenzielle Unterschied auf den bereits vor Beginn der Versuchsperiode vorhandenen signifikanten Unterschied zwischen den Behandlungsgruppen zurückzuführen war (siehe Tab. 3.9). Eine Übersicht über die Absolutwerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität der beiden Behandlungsgruppen in den einzelnen Testwiederholungen und Testabschnitten befindet sich im Anhang (Tab. B.1, B.2 und B.3).

Differenzwerte

Die Berechnung der Differenzwerte erfolgte, um die geringen Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen vor Beginn der Versuchsperiode auszugleichen und um Unterschiede in der Habituation zwischen den beiden Behandlungsgruppen aufzudecken.

Bei der statistischen Analyse der Differenzwerte zum ersten Verhaltenstest konnte bei allen Parametern kein signifikanter Einfluss der Behandlungsgruppe nachgewiesen werden. Es traten hauptsächlich Einflüsse der Testwiederholung und des Testabschnittes auf (Tab. 3.10). Nur die Herzfrequenz wies wie bei der Analyse der Absolutwerte einen signifikanten Abfall von der 2. zur 3. Testwiederholung auf ($F_{1,102,4} = 7.4$, $P < 0.01$). SDNN, RMSSD und LF, die bei der Analyse der Absolutwerte mit der Wiederholung des Tests allgemein zunahmen, zeigten bei den Differenzwerten eine entgegengesetzte Entwicklung, nämlich eine Abnahme von der 2. zur 3. Testwiederholung (SDNN: $F_{1,104,2} = 12.6$, $P < 0.001$; RMSSD: $F_{1,103,3} = 15.4$, $P < 0.001$; LF: $F_{1,106,5} = 5.4$, $P < 0.05$). Es zeigte sich, dass bei diesen Parametern eine diskontinuierliche Zunahme vorlag mit deutlich höheren Werten bei der 2. Testwiederholung als bei der 3.. Das Verhältnis RMSSD/SDNN sowie sämtliche Parameter der RQA wurden bei der statistischen Analyse der Absolutwerte signifikant von der Testwiederholung beeinflusst, bei der Analyse der Differenzwerte allerdings nicht mehr.

Der Testabschnitt beeinflusste den SDNN-Wert ($F_{1,100,6} = 13.2$, $P < 0.001$), das Verhältnis RMSSD/SDNN ($F_{1,100,5} = 11.9$, $P < 0.001$), den LF-Wert ($F_{1,100,3} = 18.8$, $P < 0.001$) und den trend-Wert ($F_{1,101,1} = 11.4$, $P < 0.01$) signifikant. SDNN und LF veränderten sich bereits im ersten

Verhaltenstest als Reaktion auf das unbekannte Objekt (Anstieg SDNN und Abfall LF). Bei den Testwiederholungen verlief die Richtung der Veränderung allerdings entgegengesetzt (Abfall SDNN und Anstieg LF). RMSSD/SDNN sowie trend hatten im ersten Verhaltenstest keine Veränderung gezeigt, stiegen aber bei den Testwiederholungen nach der Präsentation des unbekanntes Objektes an.

Tab. 3.10: Signifikanter Einfluss von Testwiederholung, Testabschnitt und Behandlungsgruppe auf die Absolutwerte (Abs) und Differenzwerte (Diff) der Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im wiederholten *open field / novel object* Test; die Pfeile geben die Richtung der Veränderung im Laufe der Testwiederholungen, vom *open field* zum *novel object* Abschnitt sowie in der Versuchsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe an: \uparrow = signifikanter Anstieg mit $P < 0.05$ im post hoc Vergleich, \downarrow = signifikanter Abfall mit $P < 0.05$ im post hoc Vergleich, \nearrow = tendenzieller Anstieg mit $P < 0.10$.

| Analyse | Parameter | Einfluss von: | | | | | |
|-----------------|------------|------------------|--------------|---------------|--------------|-------------------|------|
| | | Testwiederholung | | Testabschnitt | | Behandlungsgruppe | |
| | | Abs | Diff | Abs | Diff | Abs | Diff |
| Zeitbereich | HR | \downarrow | \downarrow | | | | |
| | SDNN | \uparrow | \downarrow | \nearrow | \downarrow | | |
| | RMSSD | \uparrow | \downarrow | | | | |
| | RMSSD/SDNN | \uparrow | | | \uparrow | | |
| Frequenzbereich | LF | \uparrow | \downarrow | \downarrow | \uparrow | | |
| | HF | | | | | \nearrow | |
| | LF/HF | | | | | | |
| RQA | %rec | \downarrow | | | | | |
| | %det | \downarrow | | | | | |
| | det/rec | \uparrow | | | | | |
| | MaxL | \downarrow | | | | | |
| | Entropie | \downarrow | | | | | |
| | trend | \downarrow | | | | \uparrow | |

Ein allgemeiner Überblick über die Differenzwerte aller Parameter im wiederholten, kombinierten *open field / novel object* Test, aufgeschlüsselt nach Behandlungsgruppe, Testwiederholung und Testabschnitt, befindet sich in Tab. B.4 im Anhang.

4. DISKUSSION

4.1 Bewältigung der Lernaufgaben

4.1.1 Phase 1 - Klassische Konditionierung

Beide Behandlungsgruppen wurden am ersten Tag der Versuchsperiode in die neue Haltungsumwelt des Versuchsaufbaus umgestellt. Für die Kontrollgruppe veränderte sich bezüglich der Fütterung kaum etwas. Wie in ihrer vorherigen Umwelt enthielten offene Tröge das Futter. Die einzigen Veränderungen waren die Reduzierung des Tier-Fressplatz-Verhältnisses von 1:1 auf 2:1 und die Umstellung von *ad libitum* auf restriktive Fütterung.

Die Versuchsgruppe wurde dagegen mit den beiden Ton-Schalter-Futterautomaten konfrontiert und musste zunächst lernen, dass diese die neue Futterquelle darstellen (Wechsler and Lea, 2007). Bereits am Tag der Umstallung, also am ersten Tag der Versuchsperiode, riefen die Schweine 93 % ihres theoretischen Bedarfs an Futter an den beiden Automaten ab. Ab Versuchstag 2 lag die abgerufene Futtermenge dann deutlich über der theoretisch benötigten Menge. Dieses Ergebnis bestätigt die Ergebnisse der Studie von Ernst et al. (2005), wo ein ähnliches Versuchsdesign vorlag. Dort begannen die Schweine allerdings mit 50 % ihres theoretischen Futterbedarfs und riefen erst nach 4 Tagen deutlich mehr Futter ab, als sie theoretisch benötigten. Während Ernst et al. (2005) mit einer Gruppengröße von 8 Schweinen und 4 Ton-Schalter-Futterautomaten arbeiteten, wurden in der vorliegenden Studie 4 Schweine pro Gruppe und 2 Ton-Schalter-Futterautomaten verwendet. In beiden Studien war das Tier-Fressplatz-Verhältnis 2:1 und es erfolgte durch die Steuerungssoftware der Futterautomaten jede Stunde eine zufällige Zuteilung der Schweine auf die Futterautomaten, d. h. jedes Schwein konnte nur an einem Automaten Futter abrufen, um spontane Präferenzen zu verhindern. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Tier an einem bestimmten Automaten Futter abrufen konnte, betrug damit bei Ernst et al. (2005) 25 %, in der vorliegenden Studie jedoch 50 %. In den ersten Tagen der Versuchsperiode, wo die Schweine ihre neue Umgebung kennen lernten, mussten die 8 Schweine von Ernst et al. (2005) lernen, dass 4 potentielle Futterplätze existieren. Es ist nahe liegend, dass dieser Lernvorgang länger dauerte, nämlich 3 bis 4 Tage, als das Erlernen von 2 potentiellen Futterplätzen in dieser Studie, wo die Tiere nur 1 Tag benötigten. Bereits die Studien von Mendl et al. (1997) und Laughlin and Mendl (2000) bewiesen, dass Schweine ein hervorragendes Vermögen für räumliches Lernen und Gedächtnis besitzen.

In der vorliegenden Studie und derjenigen von Ernst et al. (2005) kam es nach der Adaptation an die neue Umgebung zu einer deutlichen Überschreitung des theoretischen Futterbedarfs. Es existieren verschiedene Möglichkeiten, um diese zu erklären. Zum einen wird der theoretische Futterbedarf von Schweinen aus ökonomischer Sicht errechnet (Lindermayer et al., 1994) und die Fütterung erfolgt meist restriktiv, z. B. um eine Verfettung der Tiere zu verhindern bzw. mageres Fleisch zu erzeugen (Ramaekers et al., 1996). Das bedeutet nicht, dass diese Futtermenge die Tiere befriedigt. Vergleiche zwischen *ad libitum* und restriktiver Fütterung zeigten, dass Schweine, die *ad libitum* gefüttert werden, deutlich mehr Futter aufnehmen, als ausreichend wäre (Ramaekers et al., 1996). Zum anderen weisen Schweine eine hohe Motivation für Exploration auf (Studnitz et al., 2007), um z. B. Informationen über ihre Umgebung zu sammeln und die Ungewissheit über ihre Umwelt zu reduzieren (*information primacy model*; Inglis et al. (2001)). Da die Versuchsbucht und die Ton-Schalter-Futterautomaten neu für die Schweine waren, war die Motivation für Exploration sehr hoch, insbesondere die Exploration der unbekannteren Futterautomaten, was zu einer erhöhten Ausgabe an Futter führte. Im Laufe der Zeit hätte die Exploration, und damit die erhöhte Futterausgabe, allmählich zurückgehen müssen, da die Umwelt keine weiteren Informa-

tionen für die Schweine enthielt. Dies war in der vorliegenden Studie nicht der Fall, was aber der relativ kurzen Zeit von 7 Tagen geschuldet sein kann. Eine andere Möglichkeit für die erhöhte Futterausgabe in Phase 1 könnte technisch begründet sein. Eigene Beobachtungen zeigten, dass nahezu alle Versuchsgruppen ein und dieselbe Ecke der Bucht als Liegebereich bevorzugten. In dieser Ecke befand sich auch einer der beiden Ton-Schalter-Futterautomaten, so dass bisweilen eines der Schweine mit dem Kopf und dem Ohrresponder im Bereich der Transponderantenne ruhte und die Futterausgabe wiederholt auslöste, ohne das Futter zu konsumieren. Wahrscheinlich ist, dass alle genannten möglichen Ursachen zu der erhöhten Futterausgabe beitragen.

4.1.2 Phase 2 und 3 - Operante Konditionierung

Verschiedene Studien haben nachgewiesen, dass Schweine hervorragende kognitive Fähigkeiten besitzen (Ferguson et al., 2009; Kouwenberg et al., 2009). Auch in der vorliegenden Studie bewiesen die Tiere bei der operanten Konditionierung ein schnelles Lernvermögen. Die Präsentation und allmähliche Steigerung der Herausforderung führte jedes Mal zu einem raschen Anstieg des Lernerfolges, der bei einer wiederholten Zunahme der Herausforderung in immer geringerem Maße einbrach. Im Vergleich dazu zeigten die Schweine in der Studie von Ernst et al. (2005) stärkere Einbrüche und eine deutlich langsamere Steigerung des Lernerfolges. Zurückzuführen ist das vermutlich ebenfalls, wie in Phase 1 des Versuches, auf die größere Anzahl an Tieren und Futterautomaten. Die größere Anzahl an Automaten und damit potentiellen Futterquellen in der Studie von Ernst et al. (2005) verursachte auch längere Latenzen bis zur Lokalisierung des aufrufenden Automaten und ein langsames Abnehmen der Latenz im Verlauf der Versuchsphasen.

Es erwies sich als vorteilhaft, als Maß für die Bewältigungskompetenz der Schweine nicht nur den Lernerfolg, sondern auch die Latenz zu erfassen. Im Gegensatz zu den Tieren von Ernst et al. (2005), deren Lernerfolg bei der Einführung des Schalterdrückens auf 15 % sank und die 8 Tage benötigten, um das Lernkriterium zu erreichen, wiesen die Tiere in der vorliegenden Studie mit 77 % einen Lernerfolg auf, der bereits im Bereich des Lernkriteriums von 80 % lag und den Futterbedarf der Tiere annähernd deckte. Verursacht wurde dieser Unterschied wahrscheinlich durch die vorherige Abdeckung des Schalters in der vorliegenden Studie, wodurch der Schalter einen neuen Reiz darstellte und sich die Schweine eher damit beschäftigten als die Tiere der anderen Studie, die den Schalter bereits als funktionslos kannten. Der hohe Lernerfolg könnte nun zu dem Schluss führen, dass die Schweine mit dem zuvor abgedecktem Schalter keinerlei Probleme mit der neuen Herausforderung hatten. Die Latenz hingegen bewies das Gegenteil. Die Tiere benötigten an den ersten Tagen sogar deutlich länger als in der Studie von Ernst et al. (2005), um das Futter abzurufen und zu Werten zurückzukehren, die vergleichbar waren mit dem Ende der vorherigen Versuchsphase 2. Das Erhöhen der fixed ratio auf fünfmaliges Schalterdrücken führte zu keinem Absinken des Lernerfolges, aber insgesamt zu einem Anstieg der Latenz, was eher dem erhöhten Arbeitsaufwand geschuldet war als einer Verschlechterung der Bewältigungskompetenz.

In beiden Studien steigerten die Schweine den Lernerfolg und damit die abgerufenen Futtermenge wie in Phase 1 über den theoretischen Bedarf hinaus. Die abgerufene Futtermenge sank dabei in keiner der Versuchsphasen auf die theoretisch benötigte Menge ab, nachdem eine stabile Bewältigungskompetenz erreicht wurde, was das *information primacy model* von Inglis et al. (2001) für diesen Versuch stützen würde. Es ist daher naheliegender, dass die Menge des theoretischen Futterbedarfs die Bedürfnisse der Schweine nicht befriedigte (Ramaekers et al., 1996).

4.2 Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität

4.2.1 Kurzfristige Veränderungen

Die kurzfristigen physiologischen Effekte des Versuchsaufbaus zeigten sich in den Werten der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität während der Fütterungssituation, also bei der direkten Interaktion der Versuchstiere mit dem Ton-Schalter-Futterautomaten im Vergleich zur konventionellen Fütterung bei den Kontrolltieren.

Einfluss von unterschiedlichen Aktivitäten und diurnalen Schwankungen auf die physiologischen Parameter

Es ist bekannt, dass der bloße Wechsel der Körperhaltung vom Liegen zum Stehen eine Verschiebung der Balance im autonomen Nervensystem zu vorherrschend sympathischer Kontrolle verursacht (Pagani et al., 1995). Auch in der vorliegenden Untersuchung lag ein Einfluss unterschiedlicher physischer Aktivitäten der Schweine vor Beginn der Futterraufnahme (inaktiv vs. aktiv) auf die Aktivität im autonomen Nervensystem vor. Die Ergebnisse aus der Läuferphase direkt vor Beginn der Versuchsperiode zeigten in Übereinstimmung mit der Literatur eine deutlich höhere Herzfrequenz bei den allgemein aktiven Tieren, lassen aber keine eindeutige sympathische und/oder vagale Ursache für die Unterschiede zwischen inaktiven und aktiven Schweinen erkennen. Die vago-sympathische Balance wies ebenso wie der Vagus-Indikator RMSSD keine Veränderungen auf, während der SDNN-Wert, entgegen der Herzfrequenz, bei den aktiven Tieren geringer war. Der SDNN-Wert wird sowohl sympathisch als auch vagal beeinflusst (Després et al., 2002) und ist alleine kein ausreichender Parameter um Veränderungen in der Aktivität des autonomen Nervensystems zu erklären, vielmehr dient er als Ergänzung zu den anderen Parametern. Die höhere Herzfrequenz der aktiven Tiere ist das einzige Indiz für eine Zunahme der Aktivität des Sympathikus, trotz des geringeren SDNN-Wertes, da kein Rückgang der vagalen Aktivität anhand des RMSSD-Wertes oder des Verhältnisses RMSSD/SDNN zu erkennen ist (Tab. 4.1).

Das Ziel der vorliegenden Studie war, affektive und emotionale Reaktionen anhand von Veränderungen in der Aktivität des autonomen Nervensystems zu erfassen und zwischen den beiden unterschiedlichen Fütterungsmanagements zu vergleichen. Ein zusätzlicher beeinflussender Faktor wie die Änderung der Körperhaltung hätte die anschließende Interpretation der Ergebnisse erschwert. Daher wurden in den weiteren Analysen nur Ereignisse berücksichtigt, in denen die Schweine bereits vor dem Stimulus „Futter“ aktiv waren, da sie während der Futterraufnahme ebenfalls als aktiv angesehen werden konnten.

Tab. 4.1: Veränderung der Aktivität im autonomen Nervensystem durch unterschiedliche Verhaltensaktivität (inaktiv vs. aktiv) und diurnale Veränderungen während der Messperiode (8–11 Uhr); die Pfeile geben die Richtung der Veränderung an mit zunehmender physischer Aktivität (von „inaktiv“ zu „aktiv“) bzw. mit zunehmender Tageszeit (von 8 Uhr zu 11 Uhr); \uparrow = zunehmende physiologische Aktivität bzw. ansteigende Werte der Parameter, \downarrow = abnehmende physiologische Aktivität bzw. abnehmende Werte, \rightarrow = keine Veränderung der Aktivität oder Werte.

| Effekt | Sympathikus | Vagus | Parameter |
|--|-------------|---------------|---|
| zunehmende Aktivität inaktiv \rightarrow aktiv | \uparrow | \rightarrow | HR \uparrow , SDNN \downarrow , RMSSD \rightarrow , RMSSD/SDNN \rightarrow |
| zunehmende Tageszeit 8 \rightarrow 11 Uhr | ? | \downarrow | HR \uparrow , SDNN \downarrow , RMSSD \downarrow , RMSSD/SDNN \rightarrow |

Während der Analyse der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität in der Versuchsperiode zeigte sich, dass bereits Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen vor dem Stimulus „Futter“ auftraten, wo die Tiere beider Gruppen allgemein aktiv waren. D. h., es lagen Unterschiede in der allgemeinen Aktivität des autonomen Nervensystems vor. Die Ursache für diese Unterschiede könnte natürlich die unterschiedliche Belastung der beiden Behandlungsgruppen durch die verschiedenen Fütterungsmanagements sein und damit auf verschiedene Stressniveaus hindeuten. Möglicherweise liegen den Unterschieden wesentlich allgemeinere Ursachen zugrunde, wie z. B. normale diurnale Veränderungen der Aktivität im autonomen Nervensystem.

Ausgangssituation für beide Behandlungsgruppen war die *ad libitum* Fütterung in der Läuferphase bei einem Tier-Fressplatz-Verhältnis von 1:1. Der Beginn der Futterraufnahme erfolgte selbstbestimmt und zu einer beliebigen Zeit zwischen 8 und 11 Uhr während der Erfassung der Herzschlagaktivität. Dabei traten keine Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen auf. Während der Versuchsperiode fand die Futterraufnahme der Versuchsgruppe ebenfalls zu beliebigen Zeiten zwischen 8 und 11 Uhr während der Erfassung der Herzschlagaktivität statt, während die

Fütterung der Kontrollgruppe auf 8 Uhr festgelegt war. Dabei traten schließlich die Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen auf. Wurde in der Versuchsgruppe hingegen nur die erste Futteraufnahme des Tages zwischen 8:00 und 8:20 Uhr berücksichtigt, also einer Zeit, die vergleichbar mit der Kontrollgruppe war, verschwanden die Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

Kuwahara et al. (1999) haben nachgewiesen, dass die Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität von Schweinen diurnalen Schwankungen unterliegen, mit einer allmählichen Verschiebung der autonomen Aktivität in Richtung sympathischer Dominanz am Vormittag (ansteigende Herzfrequenz, Verringerung der Aktivität des Vagus, ansteigende Werte der sympatho-vagalen Balance). Der Vagus gilt als der Hauptregulator im autonomen Nervensystem, der vorrangig auf interne physiologische Bedürfnisse reagiert (Porges, 1995a; Thayer and Siegle, 2002). Um z. B. allgemeines, aktives Verhalten zu ermöglichen, werden erhöhte metabolische Anforderungen an den Organismus gestellt, was vorrangig durch einen Rückgang der vagalen Aktivität erreicht wird. Dies spiegelte sich auch in den Ergebnissen der vorliegenden Studie wider. Während der normalen Aktivität kurz vor der Fütterung (ca. 8 Uhr) befand sich die Kontrollgruppe noch am Anfang der diurnalen Veränderungen im autonomen Nervensystem und damit unter vorrangig vagalem Einfluss mit geringerer Herzfrequenz und erhöhten Werten bei dem Parameter, der als eindeutiger Indikator für die Aktivität des Vagus angesehen wird (RMSSD; Boissy et al. (2007b)). Bei der Versuchsgruppe stammten die ausgewerteten Daten von verschiedenen Zeiten zwischen 8 und 11 Uhr und damit waren die diurnale Veränderungen der Aktivität im autonomen Nervensystem z. T. bereits weiter fortgeschritten und die vagale Aktivität verringert. Sichtbar wurde das an der höheren Herzfrequenz und dem verringerten Vagus-Indikator RMSSD. Eindeutige Rückschlüsse auf die Aktivität des Sympathikus können anhand der Ergebnisse und der verwendeten Parameter nicht getroffen werden. Der SDNN-Wert reagiert wie die Herzfrequenz sowohl auf Veränderungen der sympathischen als auch der vagalen Aktivität (Després et al., 2002), d. h. Aussagen über die Aktivität des Sympathikus können nur indirekt gemacht werden, z. B. wenn sich die Herzfrequenz verändert ohne dass eine Veränderung des eindeutigen Vagus-Indikators RMSSD auftritt, wenn SDNN- und RMSSD-Wert gegensätzliche Entwicklungen zeigen oder wenn eine Verringerung der vago-sympathischen Balance auftritt (Verhältnis RMSSD/SDNN), die für eine Verschiebung der Aktivität im autonomen Nervensystem in Richtung Sympathikus sprechen würde. In den vorliegenden Ergebnissen zeigte sich mit zunehmender Tageszeit eine Zunahme der Herzfrequenz bei gleichzeitigem Rückgang von RMSSD und SDNN. Dies lässt nur Rückschlüsse auf den Rückgang der Aktivität des Vagus, aber nicht auf Veränderungen der sympathischen Aktivität zu (Tab. 4.1).

Auch die diurnalen Veränderungen der Aktivität im autonomen Nervensystem waren ein zusätzlicher beeinflussender Faktor, der die anschließende Interpretation und Vergleichbarkeit der Ergebnisse erschwerte. Daher wurden in den weiteren Analysen Basisdifferenzen gebildet, die die relative physiologische Reaktion auf den Stimulus „Futter“ unabhängig von grundlegenden, diurnalen Unterschieden widerspiegeln.

Grundlegende physiologische Reaktion auf die Futteraufnahme

In der Läuferphase war das Fütterungsmanagement für beide Behandlungsgruppen gleich. Das Futter stand *ad libitum* zur Verfügung und der Beginn der Futteraufnahme erfolgte selbstbestimmt durch die Schweine, d. h. nicht nur die Motivation zur Futteraufnahme, sondern auch der Auslöser für den Beginn der Futteraufnahme waren intrinsischer Natur, z. B. metabolische Bedürfnisse. Die Futteraufnahme an sich teilt sich in zwei Phasen, die appetitive Phase (Futtersuche) und die Konsumphase (Nahrungsaufnahme), die durch charakteristische Verhaltensweisen und physiologische Reaktionen gekennzeichnet sind (Porges, 1995a; Burgdorf and Panksepp, 2006). Die appetitive Phase erfordert die Mobilisierung des Organismus, um das Futter aktiv zu suchen. Sie ist meist gekoppelt mit einem Rückgang der vagalen Aktivität, was den metabolischen output, der für das aktive Verhalten notwendig ist, erhöht. Die Konsumphase hingegen erfordert die Aktivität des Verdauungssystems, was zu einer Aktivierung des Vagus führt (Porges, 1995a; Teff, 2008). Als Stimulus „Futter“ wurde in der Läuferphase der Beginn der Futteraufnahme angesehen, da dieser zeitlich relativ genau bestimmt werden konnte und damit die Vergleichbarkeit der Daten ermöglichte. Dieser Zeitpunkt stellte den Beginn der Konsumphase dar. Somit wäre zu erwarten, dass sich

die Veränderungen in der Aktivität des autonomen Nervensystems aufgrund des Wechsels von der appetitiven zur Konsumphase über das -10-Sekunden-Intervall vor Beginn der Futterraufnahme (Ende der appetitiven Phase) und die ersten Intervallen nach Beginn der Futterraufnahme (Anfang der Konsumphase) erstrecken. Tatsächlich waren im -10-Sekunden-Intervall die Herzfrequenz leicht erhöht und der RMSSD-Wert sowie das Verhältnis RMSSD/SDNN leicht verringert, was den Rückgang der vagalen Aktivität in der appetitiven Phase der Futterraufnahme andeutet. Im Anschluss traten keine Veränderungen in der Herzfrequenz auf, während der SDNN-Wert absank und der RMSSD-Wert und das Verhältnis RMSSD/SDNN anstiegen. Diese Ergebnisse sprechen für eine Aktivierung des Vagus und eine deutliche Verschiebung der Aktivität im autonomen Nervensystem in Richtung vorherrschend vagaler Kontrolle. Das Absinken des SDNN-Wertes könnte als gleichzeitiger Rückgang der sympathischen Aktivität gedeutet werden. Allerdings passt die gleich bleibende Herzfrequenz nicht in dieses Bild, da sie bei starkem Vagus- und geringem Sympathikus-Tonus absinken müsste. Dies weist auf eine gewisse sympathische Beteiligung hin (Tab. 4.2), z. B. zur Aufrechterhaltung des aktiven Verhaltens während der Nahrungsaufnahme und/oder durch psychische Komponenten wie generelle Aufmerksamkeit oder milde emotionale Erregung (Thayer and Lane, 2000). Es ist nicht auszuschließen, dass durch die Befriedigung der Motivation Nahrung aufzunehmen auch positive Emotionen einhergehen. Spruijt et al. (2001) sehen in jeglicher Reduzierung der Differenz zwischen aktuellem Zustand (z. B. Hunger oder Appetit) und erwartetem bzw. angestrebtem Zustand (z. B. Sättigung) potenziell eine Quelle für positive Emotionen.

Tab. 4.2: Veränderung der Aktivität im autonomen Nervensystem durch den selbstbestimmten Beginn der Futterraufnahme vor Beginn der Versuchsperiode; die Pfeile geben die Richtung der Veränderung an; \uparrow = zunehmende physiologische Aktivität bzw. ansteigende Werte der Parameter, \downarrow = abnehmende physiologische Aktivität bzw. abnehmende Werte, \rightarrow = keine Veränderung der Aktivität oder Werte.

| Effekt | Sympathikus | Vagus | Parameter |
|-------------------------------|-------------|------------|--|
| Beginn Futterraufnahme | \uparrow | \uparrow | HR \rightarrow , SDNN \downarrow , RMSSD \uparrow , RMSSD/SDNN \uparrow |

Allgemeine physiologische Reaktion auf den Stimulus „Futter“ in der Versuchsperiode

Am Anfang der Versuchsperiode erfolgte für beide Behandlungsgruppen ein Wechsel von *ad libitum* zu restriktiver Fütterung, wobei „restriktiv“ sowohl eine Begrenzung der Futtermenge als auch eine Einschränkung des Tier-Fressplatz-Verhältnisses beinhaltete. Das hatte deutliche Auswirkungen auf die Herzfrequenz und die Herzschlagvariabilität. Unabhängig von der Behandlungsgruppe zeigte sich, dass man die physiologische Reaktion auf den Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode in zwei Phasen einteilen kann. Die erste Reaktion auf den Stimulus erfolgte sehr schnell und war nur von kurzer Dauer. Sie kann daher als affektive Reaktion auf den Stimulus „Futter“ bezeichnet werden. Im Anschluss an die affektive Reaktion, während der Futterraufnahme, behielten die Parameter in dem analysierten Zeitraum bis 1 Minute nach dem Stimulus ein bestimmtes Niveau und veränderten sich nicht weiter.

Während der Versuchsperiode war der Stimulus „Futter“ für beide Behandlungsgruppen klar definiert: das individuelle Tonsignal für die Tiere der Versuchsgruppe und die Platzierung des Futters im Trog für die Kontrollgruppe. Beide Stimuli signalisierten den Schweinen, dass die Möglichkeit zur Futterraufnahme bestand. Im Gegensatz zur Läuferphase, wo sowohl die Motivation zur Futterraufnahme, als auch der Auslöser intrinsischer Natur waren, war in der Versuchsperiode nur die Motivation intrinsisch, der Auslöser hingegen, in Form des Stimulus „Futter“, extrinsisch. Somit begann in der Versuchsperiode mit dem Stimulus „Futter“ zunächst die appetitive Phase der Nahrungsaufnahme (affektive Reaktion) und ging dann in die Konsumphase über (Futterraufnahme).

Im folgenden werden diese zwei Phasen (affektive Reaktion und Futterraufnahme) zunächst getrennt diskutiert.

Affektive Antizipation Die affektive Reaktion auf den Stimulus „Futter“ sah bei beiden Behandlungsgruppen ähnlich aus. Sie beinhaltete einen sprunghaften Anstieg der Herzfrequenz und des SDNN-Wertes sowie einen deutlichen Abfall des Verhältnisses RMSSD/SDNN. Einhergehend mit keiner sichtbaren Veränderung des RMSSD-Wertes spricht dieses Bild für eine direkte Aktivierung des Sympathikus und einer Verschiebung in der Balance des autonomen Nervensystems in Richtung vorherrschend sympathischer Kontrolle. Diese Ergebnisse entsprechen nicht den von Porges (1995a) beschriebenen, vorrangig vagal verursachten Veränderungen im autonomen Nervensystem in der appetitiven Phase der Nahrungsaufnahme.

Der Vagus gilt als Hauptregulator im autonomen Nervensystem, der sehr schnell, d. h. im Bereich von Millisekunden von einem Herzschlag auf den nächsten reagiert, so dass sehr schnelle Reaktionen primär von einem Rückgang der vagalen Aktivität verursacht werden (Porges, 1995a,b; Thayer and Siegle, 2002). Dagegen sprechen die fehlenden Veränderungen des RMSSD-Wertes in der vorliegenden Studie. Die Auswertung der Daten dieser Studie erfolgte aber anhand von 10-Sekunden-Intervallen, die lang genug sind, um kurze und schnelle Wechsel zwischen verringerter und erhöhter vagaler Aktivität, wie sie z. B. von Thayer and Lane (2000) im Kontext von Angstkonditionierung beschrieben wurden, im Durchschnitt als unveränderten Vagus-Tonus erscheinen zu lassen. Der Sympathikus reagiert auf eine Aktivierung deutlich langsamer als der Vagus, aber immer noch im Bereich von wenigen Sekunden und damit innerhalb eines 10-Sekunden-Intervalls (Hainsworth, 1995).

Des Weiteren beschreibt Porges (1995a), dass der Vagus vorrangig interne physiologische Bedürfnisse reguliert. Im Gegensatz dazu tritt eine direkte Aktivierung des Sympathikus auf, wenn Anforderungen durch die externe Umwelt gestellt werden bzw. wenn aktiv mit der externen Umwelt interagiert wird. Dabei werden erhöhte metabolische Anforderungen an den Organismus gestellt, um aktives Verhalten zu ermöglichen. Der Stimulus „Futter“ stellte während der Versuchsperiode für beide Behandlungsgruppen ein externes Signal für die Möglichkeit zur Nahrungsaufnahme dar und ist damit potenziell eine Quelle für eine direkte Aktivierung des sympathischen Nervensystems.

Burgdorf and Panksepp (2006) legen der appetitiven Phase und der Konsumphase unterschiedliche und voneinander unabhängige neuroanatomische Substrate zugrunde. Während in der appetitiven Phase das Dopamin-System aktiv wird, das zielorientiertes, motiviertes Verhalten steuert („wollen“), wird die Konsumphase hauptsächlich vom Opioid-System beeinflusst, das dem Ergebnis einen emotionalen Wert gibt („mögen“). Die physiologische Reaktion auf das externe Signal fiel wesentlich heftiger aus als die Veränderungen im autonomen Nervensystem in der Läuferphase, wo ein intrinsisches Signal für die Futteraufnahme vorlag. Das zeigt, dass bei den Schweinen während der Versuchsperiode eine hohe appetitive Motivation im Bezug auf die Fütterung vorhanden war.

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass Antizipation von Futter bzw. Belohnungen bei verschiedenen Tierarten zu erhöhter physischer Aktivität und Aufmerksamkeit (van der Harst et al., 2003; Vinke et al., 2004; Dudink et al., 2006; Moe et al., 2006) sowie einem Anstieg der Herzfrequenz führt (Robert et al., 2002; Braesicke et al., 2005). Generell kann die Antizipation von Futter, als Ressource von hohem appetitivem Wert, als positiv angesehen werden. Positive Antizipation hat einen verstärkenden Effekt, eine präparative Funktion und kann positive Emotionen erzeugen (Boissy et al., 2007b; de Jonge et al., 2008). Dieser verstärkende Effekt von Antizipation zeigte sich in der vorliegenden Studie anhand der starken physiologischen Reaktion auf den externen Stimulus „Futter“. Die präparative Funktion von Antizipation, vor allem im Zusammenhang mit Futter, liegt in der Ermöglichung von appetitivem Verhalten (Porges, 1995a). Im Zusammenhang mit Antizipation von positiven Ereignissen wurden sowohl positive (Spielverhalten; Dudink et al. (2006)) als auch negative Effekte berichtet (Aggressionen, Stereotypen, Selbstverletzungen; Carlstead (1986); Waitt and Buchanan-Smith (2001)). Meist verursachen unzuverlässige Signale, zu lange Dauer bis das positive Ereignis tatsächlich auftritt und fehlende Möglichkeit von Kontrolle über das Auftreten des Ereignisses Distress trotz positiver Antizipation (Bassett and Buchanan-Smith, 2007; Manteuffel et al., 2009b).

Aus diesen Arbeiten geht auch hervor, dass mit Antizipation affektive Reaktionen einhergehen. Yeates and Main (2008) und Posner et al. (2005) beschreiben Affekt als zweidimensional. Eine Dimension ist die Valenz, die von negativ bis positiv reicht, und die andere die Erregung, mit

Werten von gering bis stark. Valenz und Erregung weisen dabei keine diskrete Verteilung auf, sondern erstrecken sich jeweils auf kontinuierlichen Skalen.

Wie bereits erwähnt, zeigten die Herzfrequenz und die Herzschlagvariabilität in der Läuferphase nur geringe Veränderungen, die rein physiologisch erklärt werden konnten (Übergang von der appetitiven zur Konsumphase). Der heftigen physiologischen Reaktion in der Versuchsperiode (appetitive Phase) liegen somit weniger physiologische als vielmehr psychologische Ursachen zugrunde, da die Schweine vor dem Stimulus „Futter“ bereits aktiv waren. Futter ist generell eine Ressource von hohem appetitiven Wert, d. h. es ist eine positive Valenz damit verknüpft. Dies war sowohl in der Läuferphase als auch in der Versuchsperiode der Fall und somit kann die heftige physiologische Reaktion nicht mit der Valenz erklärt werden. Verschiedene physiologische Parameter, die in früheren Untersuchungen als Indikator für die negative Valenz von Ereignissen genutzt wurden, werden aufgrund ambivalenter Ergebnisse heute eher als Maß für Erregung angesehen, z. B. Cortisol (Yeates and Main, 2008). Die kurzfristige Aktivierung des sympathischen Nervensystems, verantwortlich für die klassische, adaptive *fight-or-flight*-Reaktion (Porges, 1995b), ist ebenfalls eher ein Indikator für den Grad der Erregung, als für die Valenz. Dies ist in der vorliegenden Untersuchung der Fall. Die Schweine beider Behandlungsgruppen haben einen externen Stimulus aufgrund adaptiver Lernprozesse (Wechsler and Lea, 2007) bzw. klassischer Konditionierung (Lang and Davis, 2006) mit Futter verknüpft und reagierten auf den Stimulus mit einer affektiven Antizipationsreaktion, die mit starker Erregung und damit einer direkten Aktivierung des sympathischen Nervensystems einherging. (Tab. 4.3)

Tab. 4.3: Veränderung der Aktivität im autonomen Nervensystem durch Ankündigung von Futter in Form des Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode bei beiden Behandlungsgruppen; die Pfeile geben die Richtung der Veränderung an; \uparrow = zunehmende physiologische Aktivität bzw. ansteigende Werte der Parameter, \downarrow = abnehmende physiologische Aktivität bzw. abnehmende Werte, \rightarrow = keine Veränderung der Aktivität oder Werte.

| Effekt | Sympathikus | Vagus | Parameter |
|---------------------------|-------------|---------------|--|
| Ankündigung Futter | \uparrow | \rightarrow | HR \uparrow , SDNN \uparrow , RMSSD \rightarrow , RMSSD/SDNN \downarrow |

In der Versuchsgruppe zeichnete sich diese Reaktion mit Eintreten des Stimulus klar und deutlich ab, während in der Kontrollgruppe die gleichen Veränderungen bei einigen Parametern bereits kurz vor dem Stimulus sichtbar wurden. Den Tieren der Versuchsgruppe lagen durch die individuellen Tonsignale zuverlässige, eindeutige Futtersignale vor und die Dauer bis zum Auftreten des Futters sowie das Auftreten an sich konnten die Schweine durch ihr eigenes Verhalten beeinflussen, was dem Prinzip von Kontrolle entspricht. Damit wurden wichtige Voraussetzungen für positive Emotionen im Zusammenhang mit positiver Antizipation geschaffen (Bassett and Buchanan-Smith, 2007; Manteuffel et al., 2009b).

Im Gegensatz dazu, besaß die Kontrollgruppe keine zuverlässigen Futtersignale. Daher reagierte sie in der regulären Fütterungszeit auf verschiedene Signale die eine mögliche Fütterung ankündigten, z. B. das Öffnen der Tür, das Klappern von Futtereimern, das Erscheinen von Personen, etc.. Zudem war die Dauer bis zur Ankunft des Futters relativ ungewiss und die Schweine konnten die Ankunft auch nicht durch ihr eigenes Verhalten beeinflussen, was trotz positiver Antizipation eine Quelle für Disstress sein konnte.

Trotz allem zeigten beide Behandlungsgruppen die gleiche affektive, d. h. spontane und unbewusste, Reaktion auf den Stimulus „Futter“. Futter ist als essentielle Ressource von hohem appetitiven Wert für die Schweine, so dass angenommen werden kann, dass die Antizipation von Futter und damit auch die erste spontane, affektive Reaktion auf Futter-ankündigende Signale eine positive Valenz aufwies. Die kognitive Bewertung der Situation, also Dauer bis zur Fütterung, Kontrollierbarkeit der Situation etc., die schließlich in einem spezifischen emotionalen Zustand resultierte, fand im Anschluss statt.

Futteraufnahme Nach 20 Sekunden war die affektive Reaktion auf den Stimulus „Futter“ und damit die appetitive Phase der Nahrungsaufnahme bei beiden Behandlungsgruppen beendet bzw. ging in die Konsumphase der Nahrungsaufnahme über. Aus den Ergebnissen der physiologischen Reaktion auf die selbstbestimmte Futteraufnahme in der Läuferphase ging hervor, dass damit hauptsächlich ein Anstieg des Vagus-Tonus für die Aktivierung des Verdauungssystems einhergeht (Porges, 1995a; Teff, 2008).

In der Kontrollgruppe kehrte der SDNN-Wert und das Verhältnis RMSSD/SDNN auf das Niveau des Basiswertes zurück, die Herzfrequenz hingegen blieb stark erhöht. Die Parameter der Herzschlagvariabilität zeigten, dass eine verringerte Vagus-Aktivität nicht für die erhöhte Herzfrequenz verantwortlich war. Da bisher kein Parameter aus der Herzschlagvariabilität bestimmt werden konnte, der die Aktivität des Sympathikus eindeutig widerspiegelt (Després et al., 2002), ist anzunehmen, dass trotz der Verringerung des SDNN-Wertes die hohe Herzfrequenz der Kontrollgruppe während der Futteraufnahme durch eine anhaltende Aktivierung des Sympathikus verursacht wurde, was ein Indikator für starke emotionale Erregung ist (Tab. 4.4). Auslöser war vermutlich die geringe Kontrolle über die Situation, eingeschränkter Zugang zum Futter sowie daraus folgende aggressive Futterkonkurrenz zwischen den Schweinen. De Jong et al. (2000b) beschreiben eine erhöhte Herzfrequenz ohne Veränderung der Herzschlagvariabilität in einem *food competition test* bei Schweinen.

Tab. 4.4: Aktivität im autonomen Nervensystem während der Futteraufnahme in der Versuchsperiode bei der Kontroll- und Versuchsgruppe; die Pfeile geben die Veränderung der Aktivität nach der Reaktion auf den Stimulus „Futter“ an; ↑ = zunehmende physiologische Aktivität bzw. ansteigende Werte der Parameter, ↓ = abnehmende physiologische Aktivität bzw. abnehmende Werte, → = keine Veränderung der Aktivität oder Werte.

| Effekt | Sympathikus | Vagus | Parameter |
|--|-------------|-------|--|
| Futteraufnahme Kontrollgruppe | ↑ | → | HR →, SDNN ↓, RMSSD →, RMSSD/SDNN ↑ |
| Futteraufnahme Versuchsgruppe | ↓ | ↑ | HR ↓, SDNN ↓, RMSSD ↑, RMSSD/SDNN ↑ |

In der Versuchsgruppe sanken SDNN-Wert und Herzfrequenz auf nahezu Basiswert und das Verhältnis RMSSD/SDNN stieg sogar deutlich über den Basiswert an. Dies deutet auf eine Verschiebung der autonomen Balance in Richtung vorherrschend vagaler Kontrolle hin, ähnlich der generellen physiologischen Reaktion auf die Futteraufnahme in der Läuferphase. Besonders deutlich waren diese Veränderungen bei der Analyse innerhalb der Versuchsgruppe (Vergleich zwischen aufgerufenen und nicht aufgerufenen Tieren). Dort zeigten die aufgerufenen Tiere eine leicht erhöhte Herzfrequenz und einen verringerten SDNN-Wert bei der Futteraufnahme sowie insgesamt einen höheren RMSSD-Wert. Die Verschiebung der autonomen Balance erfolgte also durch entgegengesetzte Veränderungen von SDNN und RMSSD und somit durch den Rückgang der sympathischen und Anstieg der vagalen Aktivität (Tab. 4.4). Die leicht erhöhte Herzfrequenz während der Futteraufnahme weist dennoch auf eine höhere sympathische Aktivität hin als vor dem Stimulus bei normaler Aktivität und damit auf eine gewisse emotionale Erregung.

Die Aktivierung des Vagus bzw. die Verschiebung der Balance im autonomen Nervensystem in Richtung vorherrschend vagaler Kontrolle wird, bestätigt durch die Ergebnisse in der Läuferphase, als normale physiologische Reaktion auf die Futteraufnahme angesehen (Porges, 1995a; Teff, 2008). In der Versuchsgruppe blieb diese Reaktion während der Versuchsperiode erhalten. Zu der Befriedigung der Motivation für Futteraufnahme (Spruijt et al., 2001) kamen in der Versuchsperiode positive Antizipation und die Möglichkeit von erfolgreicher Bewältigung einer Herausforderung durch eigenes Verhalten, was potenzielle Quellen von positiven Emotionen und Wohlbefinden sind (Boissy et al., 2007b). Damit kann dem mäßigen Erregungszustand der Versuchsgruppe während der Futteraufnahme eine positive Valenz zugeschrieben werden (Burgdorf and Panksepp, 2006). In der Kontrollgruppe wurde die vagale Dominanz im autonomen Nervensystem verhindert und

dafür eine anhaltende Aktivierung des Sympathikus gefördert, der u. a. hemmend auf die Verdauung wirkt (Porges, 1995a). Die Kontrollgruppe hatte ebenfalls die Möglichkeit zur positiven Antizipation und Befriedigung der Motivation für Futterraufnahme, doch die geringe Situationskontrolle und hohe Futterkonkurrenz beinhaltete eher negative Emotionen und Disstress (Botermans et al., 2000), womit dem starken Erregungszustand während der Futterraufnahme eine negative Valenz zugeordnet werden kann.

In diversen Studien mit restriktiver Fütterung reagierten Schweine physiologisch in ähnlicher Weise wie die Kontrollgruppe in der vorliegenden Studie, nämlich mit einem sprunghaften Anstieg der Herzfrequenz als Reaktion auf die Fütterung und stark erhöhter Herzfrequenz während der Futterraufnahme. In diesen Studien wurde sowohl Fütterung in der Gruppe mit kompetitiven Auseinandersetzungen untersucht (Geverink et al., 2003) als auch Einzeltierfütterung im Kastenstand (Marchant et al., 1997; Robert et al., 2002; Geverink et al., 2003), in Gruppenhaltung mit Selbstfangeinrichtungen oder Futterautomaten (Marchant et al., 1997). In allen Studien blieb die Herzfrequenz während der Futterraufnahme stark erhöht und kehrte nicht, wie bei der Versuchsgruppe in der vorliegenden Studie, auf nahezu Basiswert zurück. Geverink et al. (2003) führten die erhöhte Herzfrequenz in der Gruppenfütterung auf die agonistischen Auseinandersetzungen aufgrund der Futterkonkurrenz zurück. In der Studie von Marchant et al. (1997) wurden die Schweine einzeln gefüttert, so dass kompetitive Interaktionen nicht möglich waren, dennoch blieb die Herzfrequenz deutlich erhöht. Marchant et al. (1997) sahen in psychologisch wahrgenommener Bedrohung durch benachbarte dominante Tiere eine mögliche Ursache. Nachgewiesen wurde ein solcher psychologischer Effekt bereits bei Ziegen (Aschwanden et al., 2008).

Vergleich zwischen aufgerufenen und nicht aufgerufenen Schweinen der Versuchsgruppe

In der vorliegenden Studie wurden die Schweine der Versuchsgruppe zwar einzeln, aber ohne Separierung von den anderen Gruppenmitgliedern gefüttert, d. h. kompetitive Interaktionen und psychologisch wahrgenommene Bedrohung waren potentiell möglich. Stattdessen führte die Fütterung mittels Aufruf durch individuelle Tonsignale zu einer physiologisch und wahrscheinlich auch psychologisch entspannten Futterraufnahme. Der Vergleich der physiologischen Parameter zwischen aufgerufenen und nicht aufgerufenen Schweinen zeigte, dass die nicht aufgerufenen Mitglieder der Gruppe in keinem Parameter der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität eine affektive Reaktion auf den fremden Ton aufwiesen.

Es konnte keine Studie gefunden werden, in der Tiere, die in einer sozialen Gruppe gehalten wurden, auf individuelle, akustische Signale konditioniert wurden. Entweder fand eine Konditionierung an Einzeltieren statt (LeDoux, 2000) oder ein akustisches Signal galt allen Tieren einer Gruppe (Geverink et al., 2003). Aus den Arbeiten von LeDoux (2000) und Ousdal et al. (2008) geht hervor, dass subcortikale Mechanismen bei der Reaktion auf biologisch relevante Ereignisse und der Modulierung von Gedächtnisbildungsprozessen eine Rolle spielen. In der vorliegenden Studie lernten die Schweine der Versuchsgruppe, ein bestimmtes Tonsignal mit Futter zu assoziieren, wobei Futter biologisch relevant ist, da es essenziell und der Bedarf damit „unelastisch“ ist (Hughes and Duncan, 1988; Hursh et al., 1988). Entsprechend hoch war auch die Motivation der Tiere, was sich in der starken affektiven Reaktion auf das Tonsignal widerspiegelte. Diese zeigte sich auch in der Untersuchung von Geverink et al. (2003). Im Gegensatz zu dieser Studie konnte in der vorliegenden Untersuchung erstmals nachgewiesen werden, dass jedes Tier nur auf seinen individuellen Ton, nicht jedoch auf die übrigen Töne reagierte. Das bedeutet, obwohl alle Tonsignale von den Schweinen wahrgenommen wurden, war für jedes Tier ein anderes relevant, während die übrigen als irrelevante Information herausgefiltert wurden und somit keine affektive Reaktion auslösten.

Auch während der Futterraufnahme des aufgerufenen Tieres fanden bei den übrigen Gruppenmitgliedern keine physiologischen Veränderungen statt. Das weist darauf hin, dass keine Aggressionen oder Frustration bei den nicht aufgerufenen Schweinen auftraten, obwohl ein anderes Tier Futter erhielt.

Bei dem Versuchsdesign wurde darauf geachtet, dass mit dem Start eines Fütterungszyklus (d. h. alle 4 Tiere wurden in zufälliger Reihenfolge nacheinander aufgerufen) die Schweine in Abständen von 2 Minuten aufgerufen wurden, so dass alle Tiere innerhalb kurzer Zeit eine Porti-

on Futter erhielten. Es ist nicht auszuschließen, dass ein anderes Management, z. B. mit längeren Abstände zwischen den Aufrufen der einzelnen Schweine oder mehrmaliges Aufrufen von einem oder mehreren Tieren während andere nicht aufgerufen werden, durchaus zu Frustration oder Aggressionen und damit Disstress führen kann. Dies sollte bei der Planung eines Fütterungsmanagements mit individueller Fütterung berücksichtigt werden.

Entwicklung der physiologischen Reaktion auf den Stimulus „Futter“ im Laufe der Versuchsperiode

Für die Kontrollgruppe fand der Wechsel von *ad libitum* zu restriktiver Fütterung gleich mit Beginn der Versuchsperiode statt, für die Versuchsgruppe erst eine Woche später mit Beginn der operanten Konditionierung in Versuchsphase 2. Das zeigte sich auch im Auftreten der affektiven Reaktion. In der Kontrollgruppe zeigte sich die affektive Reaktion der Herzfrequenz auf die Fütterung bereits in der ersten Woche der Versuchsperiode (entspricht Phase 1 in der Versuchsgruppe) und blieb bis zum Ende der Versuchsperiode bestehen. Im SDNN-Wert und Verhältnis RMSSD/SDNN wurde die affektive Reaktion nach 3 Wochen (entspricht Phase 3 FR1 und 3 FR5 in der Versuchsgruppe) sichtbar, wo sie bereits vor der Fütterung auftrat.

Die Tiere der Kontrollgruppe reagierten von Anfang an auf die einmalige Fütterung am Tag mit einer affektiven Reaktion und lernten im Laufe der Versuchsperiode, dass verschiedene, unzuverlässige Signale im Zusammenhang mit der Fütterung standen, woraufhin sich eine vorzeitige affektive Antizipationsreaktion entwickelte und etablierte. Die Aktivität des autonomen Nervensystems während der Futteraufnahme zeigte vor allem in der Herzfrequenz und dem RMSSD-Wert deutliche Veränderungen im Laufe der Versuchsperiode. In der Versuchsperiode mussten sich die Schweine neben der restriktiven Fütterung auch mit einem eingeschränktem Tier-Fressplatz-Verhältnis auseinandersetzen. Die Folge war eine zunehmend höhere Herzfrequenz während der Futteraufnahme und insgesamt ein abnehmender RMSSD-Wert zum Ende der Versuchsperiode hin, vermutlich durch die geringe Situationskontrolle und zunehmende Aggressionen. In keiner Phase der Versuchsperiode konnte ein Anstieg des Verhältnisses RMSSD/SDNN über den Basiswert und damit eine Verschiebung der autonomen Balance in Richtung Vagus nachgewiesen werden. Ein eingeschränktes Tier-Fressplatz-Verhältnis verursachte eine Konkurrenzsituation und Verlust der Situationskontrolle, die von Anfang an eine vorherrschend vagale Aktivität während der Futteraufnahme verhinderte. Die Aktivität des Vagus nahm zum Ende der Versuchsperiode hin sogar ab und das autonome Nervensystem stand hauptsächlich unter sympathischem Einfluss. Vergleichbare Ergebnisse und Entwicklungen konnten in der Fachliteratur nicht gefunden werden.

In der Versuchsgruppe entsprach die Phase 1 der Versuchsperiode der *ad libitum* Fütterung in der Läuferphase, da sie zu jeder Zeit Futter in beliebiger Menge an den Ton-Schalter-Futterautomaten abrufen konnten. Das erhöhte Verhältnis RMSSD/SDNN und die gleich bleibende Herzfrequenz wies wie in der Läuferphase auf eine Verschiebung der autonomen Aktivität in Richtung Vagus und keinerlei emotionale Erregung hin. Mit Beginn der individuellen Aufrufe am Anfang der Phase 2 zeigten die Schweine noch keine physiologische Reaktion auf das Tonsignal. Doch eine Woche später (Mitte Phase 2) hatte sich bereits eine affektive, sympathisch vermittelte Antizipationsreaktion auf das individuelle Tonsignal herausgebildet, sichtbar am sprunghaften Anstieg von Herzfrequenz und SDNN-Wert sowie Abfall des Verhältnisses RMSSD/SDNN und blieb bis zum Ende der Versuchsperiode bestehen. Lediglich am Anfang der Phase 3 FR1, wo die Schweine eine neue Herausforderung in Form des Schalters erhielten, war die affektive Reaktion von Herzfrequenz und SDNN-Wert etwas abgeschwächt.

Yeates and Main (2008) deuten an, dass Hinweise auf eine dritte Dimension im Zusammenhang mit Affekt existieren, die Bewältigungskompetenz, basierend auf der Einschätzung des Tieres, ob es eine Situation bewältigen kann (Scherer et al., 2006). Neue Herausforderungen bedeuten i. d. R. einen kurzzeitigen Kontrollverlust und Unsicherheit, da zunächst über adaptive Lernprozesse geeignete Strategien gefunden werden müssen, um die neue Situation zu bewältigen (*coping*; Langbein et al. (2004)). Dies zeigte sich in der vorliegenden Studie in der Verschlechterung der Bewältigungskompetenz (verringertes Lernerfolg, erhöhte Latenz). Auf physiologischer Ebene schlug sich das in einer Abschwächung der affektiven Antizipationsreaktion und damit der affektiven Erregung

nieder, sichtbar bei der Herzfrequenz und dem SDNN-Wert, insbesondere am Anfang der Phase 3 FR1.

Des Weiteren trat allgemein mit den neuen Herausforderungen eine verzögerte Verschiebung der autonomen Balance in Richtung Vagus auf, vermutlich durch einen länger anhaltenden Erregungszustand und damit Aktivierung des Sympathikus, die mit den verwendeten Parametern leider nicht direkt nachgewiesen werden konnte. Zum Ende der Versuchsperiode hin erreichten die Tiere aber eine stabile Bewältigungskompetenz (Lernerfolg ca. 90%, Latenz ca. 23 Sekunden), die mit erhöhten RMSSD-Werten bzw. erhöhter vagaler Aktivität einherging. Der Kontrollverlust durch die Präsentation neuer Herausforderungen zeigte keine sichtbaren negativen Auswirkungen. Das Verhältnis RMSSD/SDNN war in allen Versuchsphasen und zu allen Zeitpunkten während der Futterraufnahme deutlich erhöht, es lag also eine vorherrschend vagale Aktivität im autonomen Nervensystem vor.

4.2.2 Längerfristige Veränderungen

Neben den Effekten, die bei der direkten Interaktion mit den Ton-Schalter-Futterautomaten auftraten, wurde auch untersucht, ob sich die Herausforderungen, die von den Futterautomaten an die Schweine gestellt wurden, längerfristig auf die allgemeine Aktivität des autonomen Nervensystems auswirkten. Dazu wurde die basale Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität der Tiere untersucht, d. h. im Ruhezustand, wo die grundlegende Aktivität im autonomen Nervensystem ohne zusätzliche Beeinflussung durch physische Faktoren (Lokomotion, Futterraufnahme, etc.) ersichtlich wurde.

Porges (1995b) beschreibt das parasympathische Nervensystem, mit dem Vagus als Mediator, als Hauptregulator der kardio-respiratorischen Funktionen. Der Vagus kann von einem Herzschlag auf den anderen reagieren, während die Aktivierung des sympathischen Nervensystems erst nach mehreren Sekunden einen Effekt zeigt. Somit ist ein hoher Vagus-Tonus ein Zeichen für gute Flexibilität und Regulationsfähigkeit im autonomen Nervensystem und damit des Organismus, während ein generell verringerter Vagus-Tonus ein Zeichen für Krankheit oder Distress und damit für einen allostatischen, unflexiblen Zustand des Organismus ist (Porges, 1995a; Thayer and Sternberg, 2006; Korte et al., 2007). Im aktiven Zustand liegt allgemein ein verringerter Vagus-Tonus vor und die autonome Balance ist mehr in Richtung sympathischer Aktivität verschoben als im Ruhezustand (Kuwahara et al., 1999). Die Erfassung von Ruhe- bzw. Basalwerten gibt somit einen Eindruck von der generellen regulatorischen Leistungsfähigkeit und Flexibilität im autonomen Nervensystem und kann Hinweise auf eine bestehende Belastung des Organismus liefern.

Basale Aktivität im autonomen Nervensystem

Die basale Herzfrequenz der Schweine wies eine zeitliche Drift im Laufe der Versuchsperiode auf. Die nahezu kontinuierliche Abnahme der Herzfrequenz wurde vermutlich durch zunehmendes Alter bzw. Gewicht der Schweine verursacht (Kuwahara et al., 1986; Webster and Jones, 1998). Diese wiesen am Ende der Versuchsperiode, nach 7 Wochen, mit 55 kg mehr als das doppelte ihres Gewichts vom Beginn der Versuchsperiode auf (26 kg). Dabei traten keine signifikanten Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe auf. Sowohl bei der Auswahl und der Zusammenstellung der Schweine als auch bei der Fütterung der beiden Behandlungsgruppen wurde auf möglichst ähnliche Gewichte und gleiche Gewichtsentwicklung in den Behandlungsgruppen geachtet. Somit wären Auswirkungen des Versuchsaufbaus auf die Herzfrequenz trotz Gewichtsentwicklung nachweisbar gewesen. Da dies nicht der Fall war, kann davon ausgegangen werden, dass das unterschiedliche Fütterungsmanagement keinen Einfluss auf die Herzfrequenz hatte. Die Herzfrequenz ist das Ergebnis der Aktivität vom sympathischen und parasympathischen Nervensystem sowie deren relativem Verhältnis zueinander (Thayer and Lane, 2009). Durch den offensichtlichen Einfluss der Gewichtsveränderungen bei den Schweinen können hinsichtlich der versuchsbedingten Veränderungen der Herzfrequenz im Laufe der Versuchsperiode keine konkreten Aussagen gemacht werden. Die Tatsache, dass keine signifikanten Unterschiede in der Herzfrequenz der beiden Behandlungsgruppen vorlagen, lässt den Rückschluss zu, dass keine Unterschiede in der Balance der beiden Zweige des autonomen Nervensystems zwischen den Behandlungsgruppen vorhanden

waren.

Gestützt wird diese Vermutung durch den Parameter RMSSD/SDNN, der ein Indikator für die Balance im autonomen Nervensystem ist (Langbein et al., 2004). Dieser Parameter zeigte bei beiden Behandlungsgruppen mit Differenzwerten nahe 0 keinerlei Veränderungen im Vergleich zu den Ausgangswerten vor Versuchsbeginn. Damit war die Balance zwischen Sympathikus und Vagus, sowohl von den Gewichtsentwicklungen der Schweine, als auch vom unterschiedlichen Fütterungsmanagement unbeeinflusst.

Auf die übrigen Parameter der Zeitbereichs-Analyse (SDNN, RMSSD), Frequenzbereichs-Analyse (LF, HF, LF/HF) und Recurrence-Quantification Analyse (%rec, %det, det/rec, MaxL, Entropie, trend) hatte das zunehmende Alter bzw. Gewicht ebenfalls keinen Einfluss, was an einer fehlenden zeitlichen Drift in den Werten ersichtlich ist. Einige Studien belegen, dass zunehmendes Alter einen Einfluss auf die Herzschlagvariabilität und -flexibilität hat (Cinelli et al., 1987; Odemuyiwa, 1995; Yeragani et al., 1997; Ding et al., 2007). Diese Veränderungen treten jedoch graduell und längerfristig auf, so dass die Versuchsperiode mit 7 Wochen vermutlich zu kurz war für deutliche, altersbedingte Veränderungen. Aus von Borell et al. (2007) geht hervor, dass bei Schweinen das Alter bzw. Gewicht insofern einen Einfluss hat, dass sich die Atemfrequenz der Tiere merklich verändert, was bei der Frequenzbereichs-Analyse die Festlegung der Grenzen für den high-frequency-Bereich (HF) verändert. Eine Änderung der Grenzen wird allerdings erst ab einem Gewicht von ca. 100 kg empfohlen, welches die Schweine der vorliegenden Studie noch nicht erreicht hatten.

Einen sichtbaren Einfluss des Fütterungsmanagements auf die Parameter der Frequenzbereichs-Analyse konnte sowohl insgesamt als auch im Verlauf der Versuchsperiode nicht nachgewiesen werden.

Das unterschiedliche Fütterungsmanagement hatte dagegen eindeutige Auswirkungen auf die Herzschlagvariabilität in den Parametern SDNN und RMSSD der Zeitbereichs-Analyse. Während bei den Tieren der Kontrollgruppe, im Vergleich zu den Ausgangswerten vor Beginn der Versuchsperiode, keine signifikanten Veränderungen bei beiden Parametern vorlagen, stiegen die Werte von SDNN und RMSSD in der Versuchsgruppe allmählich an und erreichten ihre maximale Differenz zu den Ausgangswerten am Anfang der Phase 3 FR1, wo die Tiere mit dem zu betätigenden Schalter als neue Herausforderung konfrontiert wurden. Die Ergebnisse der Bewältigungskompetenz haben bereits gezeigt, dass die neue Herausforderung zwar starke Anforderungen an die Schweine stellte, zu sehen an der deutlich erhöhten Latenz, dass die Tiere bei der Bewältigung aber dennoch großen Erfolg hatten (Lernerfolg nahe am Lernkriterium). Zum Ende der Versuchsperiode hin, wo die Schweine der Versuchsgruppe eine stabile Bewältigungskompetenz aufrecht erhielten, fielen die Werte bei beiden Parametern wieder signifikant auf das Niveau der Ausgangswerte ab. Bei den Indikatoren für die Balance im autonomen Nervensystem (Herzfrequenz und Verhältnis RMSSD/SDNN) traten wie bereits erwähnt keine derartigen Veränderungen auf. Das lässt den Schluss zu, dass mit den Herausforderungen und den daraus folgenden adaptiven Lernprozessen eine allgemeine Aktivierung des autonomen Nervensystems, also sowohl vom Sympathikus, als auch vom Vagus, stattfand. Die Balance zwischen diesen beiden Antagonisten blieb dabei jedoch unverändert (Tab. 4.5).

Das Gleichgewicht zwischen den beiden Systemen spielt eine wichtige Rolle. Kurzzeitige Verschiebungen der Balance bzw. eine akute Aktivierung des sympathischen Systems haben adaptiven Charakter, während chronische Veränderungen schädlich sind. Eine länger anhaltende Verschiebung des Gleichgewichts, meist in Richtung vorherrschend sympathischer Aktivität, ist eine potenzielle Bedrohung für die Integrität und Funktionalität des Organismus und damit für die Gesundheit (Thayer and Sternberg, 2006). Die Aufrechterhaltung der Balance im autonomen Nervensystem in der vorliegenden Studie zeigt, dass keine länger anhaltende Beeinträchtigung der Schweine in diesem Versuch vorlag, weder bei der Kontrollgruppe, noch bei den Tieren der Versuchsgruppe.

Die allgemein erhöhte, basale Aktivität des autonomen Nervensystems in der Versuchsgruppe, also sowohl des Sympathikus als auch des Vagus, zeigt, dass die fütterungsbezogenen Lernaufgaben länger anhaltende Auswirkungen hatten, insbesondere in der Zeit, wo keine stabile Bewältigungskompetenz vorhanden war (Versuchsphase 2 und 3 FR1). In dieser Zeit fanden bei den Schweinen

Tab. 4.5: Veränderung der basalen Aktivität im autonomen Nervensystem; Vergleich zwischen Versuchsgruppe (Präsentation und allmählichen Steigerung von Herausforderungen in Form von fütterungsbezogenen Lernaufgaben) und Kontrollgruppe (konventionelle Fütterung) in der Versuchsperiode; die Pfeile geben die Richtung der Veränderung an; \uparrow = zunehmende physiologische Aktivität bzw. ansteigende Werte der Parameter, \downarrow = abnehmende physiologische Aktivität bzw. abnehmende Werte, \rightarrow = keine Veränderung der Aktivität oder Werte.

| Effekt | Sympathikus | Vagus | Parameter |
|---------------------------------|---------------|---------------|---|
| Lernaufgaben | \uparrow | \uparrow | HR \rightarrow , SDNN \uparrow , RMSSD \uparrow , RMSSD/SDNN \rightarrow |
| konventionelle Fütterung | \rightarrow | \rightarrow | HR \rightarrow , SDNN \rightarrow , RMSSD \rightarrow , RMSSD/SDNN \rightarrow |

vermutlich interne Lernprozesse und Gedächtnisbildung statt, ausgelöst durch die neuen Herausforderungen in Form von Lernaufgaben, deren Lösung die einzige Futterquelle darstellte. Die eigentliche Initiierung von Gedächtnisbildung findet relativ unabhängig vom autonomen Nervensystem statt (McGaugh, 2000). Es ist allerdings bekannt, dass emotionale Erregung Lernprozesse und Gedächtnisbildung modulieren kann. Somit wird sich an Ereignisse im Zusammenhang mit emotionaler Erregung, also an biologisch relevante Ereignisse, besser erinnert, als an neutrale (McGaugh, 2004, 2005). Dieser Zusammenhang von Kognition und Emotion wird von subcortikalen Mechanismen ausgelöst und findet unter Einbezug des autonomen Nervensystems statt (LeDoux, 1995; Clayton and Williams, 2000; Croiset et al., 2000; LeDoux, 2000; Miyashita and Williams, 2006; Ousdal et al., 2008; Thayer and Lane, 2009). Dass verschiedene Tierarten emotional auf das Erlernen von appetitiven Kontexten reagieren, konnte bereits in einigen Untersuchungen gezeigt werden (Billman et al., 1978; Randall et al., 1985; Hagen and Broom, 2004; Braesicke et al., 2005; Inagaki et al., 2005; Uchiyama et al., 2007). Die Aktivierung des autonomen Nervensystems in den Versuchsphasen 2 und 3 FR1 der vorliegenden Studie wird daher als Indiz für eine emotionale Reaktion auf die kognitive Herausforderung der Lernaufgaben angesehen. Die gleichzeitige Aktivierung von Sympathikus und Vagus und damit die Aufrechterhaltung der Balance im autonomen Nervensystem ist ein Hinweis darauf, dass die emotionale Erregung mit einer positiven Valenz versehen ist, da negative Belastungen zumeist mit einer längerfristigen Verschiebung der autonomen Balance in Richtung vorherrschend sympathischer Kontrolle einhergehen (Porges, 1995a; Thayer and Sternberg, 2006).

Flexibilität der Regulation im autonomen Nervensystem

Die Recurrence-Quantification Analyse (RQA) wurde in dem vorliegenden Versuch verwendet, um Veränderungen in der deterministischen, chaotischen Struktur der Herzschlagaktivität nachzuweisen. Ein hohes Maß an Chaos bzw. geringer Determinismus sind Anzeichen für einen gesunden und flexiblen Organismus (Mohr et al., 2002). Die Ergebnisse der RQA zeigten keinen so deutlichen Einfluss des Versuchsaufbaus auf die Herzschlagaktivität, wie der SDNN- und RMSSD-Wert der Zeitbereichs-Analyse. Nur auf das Verhältnis $\%det/\%rec$ hatte die Behandlungsgruppe einen signifikanten Einfluss. Der Parameter gibt einen Eindruck von der Stabilität in der Regulation der Herzschlagaktivität. Über die gesamte Versuchsperiode war der Parameter bei der Kontrollgruppe geringer als vor der Versuchsperiode, während sich die Werte der Versuchsgruppe nicht von denen vor Beginn der Versuchsperiode unterschieden. Die Parameter $\%det$ und $\%rec$ wiesen im Einzelnen keine Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen auf, d. h. die deutlichen Unterschiede im Verhältnis $\%det/\%rec$ wurden durch nicht signifikante Unterschiede in den Einzelparametern hervorgerufen. Die Einzelparameterwerte der Kontrollgruppe waren geringfügig höher als die der Versuchsgruppe. Die Parameter $\%det$ und $\%rec$ sind ein Maß für die Flexibilität des regulatorischen Systems (Tab. 2.1) und ansteigende Werte bedeuten zunehmenden Determinismus und damit abnehmende Flexibilität (Mohr et al., 2002). D. h., die signifikante Abnahme des Verhältnisses $\%det/\%rec$ in der Kontrollgruppe während der Versuchsperiode weist auf eine höhe-

re Stabilität in der Regulation der Herzschlagaktivität bzw. auf eine gewisse Einschränkung der flexiblen Regulationstätigkeit im autonomen Nervensystem hin und damit auf eine gewisse Belastung der Kontrolltiere. In der Arbeit von Mohr et al. (2002) wurde das Verhältnis $\%det/\%rec$ zwar nicht berechnet, aber eine Berechnung aus den tabellarisch dargestellten Mittelwerten von $\%det$ und $\%rec$ bestätigte, dass bei Kälbern, die unter externem oder internem Stress stehen, das Verhältnis $\%det/\%rec$ deutlich geringer ist, als bei unbelasteten Kontrolltieren.

Zwei weitere Parameter wiesen noch Veränderungen auf MaxL und Entropie. Beide waren in Versuchsphase 2 höher als in Versuchsphase 3 FR1 und 3 FR5, allerdings unabhängig von der Behandlungsgruppe. In der Versuchsgruppe trat dabei ein tendenzieller Anstieg von MaxL von Versuchsphase 1 zu Versuchsphase 2 auf. Trulla et al. (1996) bringen erhöhte Werte von MaxL und Entropie mit geringerem Chaos bzw. erhöhtem Determinismus in Verbindung und auch aus der Studie von Mohr et al. (2002) geht hervor, dass beide Parameter bei den belasteten Kälbern deutlich erhöht sind. Somit weisen die Ergebnisse der vorliegenden Studie auf eine allgemeine Einschränkung der regulatorischen Flexibilität in der Versuchsphase 2 hin. Mit Beginn der Versuchsperiode in Versuchsphase 1 hatten die Schweine der Versuchsgruppe im Prinzip immer noch *ad libitum* Zugang zu Futter, während die Kontrollgruppe bereits restriktiv Futter erhielt. Da die Tiere der Versuchsgruppe in Versuchsphase 1 aber deutlich mehr Futter abriefen als sie theoretisch benötigten, hatte die Kontrollgruppe, die die gleiche Menge an Futter erhielt, zumindest *ad libitum*-ähnliche Zustände. Mit Beginn der Versuchsphase 2 wechselte auch für die Versuchsgruppe die Fütterung von *ad libitum* zu restriktiv. Hinzu kamen die neuen Herausforderungen in Form der Lernaufgaben, was die verbrauchte Futtermenge im Vergleich zur Versuchsphase 1 erheblich sinken ließ. Diese Verringerung der Futtermenge übertrug sich auch auf die Kontrollgruppe. Im weiteren Verlauf der Versuchsperiode steigerte sich die Futtermenge durch den zunehmenden Lernerfolg der Versuchsgruppe und sank nicht mehr deutlich unter den theoretischen Bedarf ab, auch nicht bei der Präsentation einer neuen Herausforderung (Versuchsphase 3 FR1) und Steigerung des Arbeitsaufwandes (Versuchsphase 3 FR5). Somit könnte die Einschränkung der regulatorischen Flexibilität in der Versuchsphase 2 auf eine gewisse Belastung hinweisen, die in Zusammenhang mit der plötzlich verringerten Futtermenge bei beiden Behandlungsgruppen und im Falle der Versuchsgruppe durch die neue Herausforderung auftrat und gering genug war, so dass sie keine Auswirkungen auf die anderen Parameter hatte. Weitere Untersuchungen müssten klar stellen, welche Auswirkungen eine Veränderung der Futtermenge bei Schweine auf die basale Herzschlagvariabilität und regulatorische Flexibilität haben.

4.3 Verhaltenstest

Externe Belastungssituationen in Form von diversen, standardisierten Verhaltenstests werden häufig eingesetzt, um Ängstlichkeit und Stressreaktivität von Tieren zu testen (Boissy, 1995; Andersen et al., 2000; Forkman et al., 2007; Dalmau et al., 2009). Dabei werden oft verschiedene Haltungssysteme verglichen (Wemelsfelder et al., 2000; Morrison et al., 2007), meist in Bezug auf Umweltenreicherung (Beattie et al., 2000; de Jong et al., 2000a; Puppe et al., 2007; Bracke and Spoolder, 2008) sowie Auswirkungen von verschiedenen Stressoren (Ruis et al., 2001a; Hayne, 2003; Kanitz et al., 2004; Siegford et al., 2008) oder verschiedene Bewältigungsstrategien untersucht (von Borell and Ladewig, 1992; Janczak et al., 2003; Bolhuis et al., 2004). Zum Teil wurde dabei eine Wiederholung des Verhaltenstest eingesetzt, um Unterschiede in verschiedenen Stadien des Versuchsablaufes nachzuweisen (Puppe et al., 2007). Forkman et al. (2007) weisen darauf hin, dass manche Veränderungen der Parameter bei einer Wiederholung des Tests weniger auf den Versuchsaufbau, sondern vielmehr auf Habituation zurückzuführen sind und dass dies bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss. Das von Korte et al. (2007) vorgestellte Prinzip der Allostase sieht in einer angemessenen Reaktion auf einen Stressor und Habituation bei wiederholter Präsentation des Stressors den normalen, d. h. unbelasteten Reaktionsverlauf. Ein Verhaltenstest, den die Tiere zumeist allein durchlaufen, also isoliert von ihrer sozialen Gruppe und in dem sie mit unbekanntem Umgebungen (*open field* Test), Situationen (*Maze* Test), Gegenständen (*novel object* Test) oder Personen (*human approach* Test) konfrontiert werden, kann

definitiv als Stressor angesehen werden und eine Wiederholung sollte im Normalfall zu einer Habituation in Verhalten und Physiologie führen, u. a. durch adaptive Lernprozesse wie räumliches Lernen und kontextabhängiges Lernen (Mendl et al., 1997; LeDoux, 2000; Wechsler and Lea, 2007). Die Abwesenheit einer Habituation bzw. eine hypersensitive, hyposensitive oder sich verlängernde Reaktion auf die Testsituation wäre ein Hinweis auf eine chronische Belastung der Tiere in ihrer Haltungsumwelt (Korte et al., 2007).

Auch in der vorliegenden Studie wurde die Wiederholung eines kombinierten *open field / novel object* Tests eingesetzt, um Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen zu verschiedenen Zeitpunkten der Versuchsperiode sowie Unterschiede in der Habituation festzustellen, die auf das Fütterungsmanagement zurückzuführen sind.

4.3.1 Veränderungen des Verhaltens durch Habituation

Auf etwa die Hälfte der beobachteten Verhaltensweisen im externen Verhaltenstest hatte die Wiederholung des Tests einen signifikanten Einfluss (Tab. 4.6). Diese sind damit Indikatoren für eine Habituation der Schweine an die Testbedingungen. Dazu gehören Verhaltensweisen, die allgemeine Aktivität widerspiegeln (Lokomotion, Stehen) und die mit Exploration (Wandkontakt, Objektkontakt) sowie emotionaler Erregung (Kontakt-Vokalisation (Grunzen), Exkretion) in Verbindung gebracht werden, aber nicht zwangsläufig mit Angst oder Ängstlichkeit assoziiert werden können (Jones and Nicol, 1998; Andersen et al., 2000; Forkman et al., 2007). Einige Ergebnisse der vorliegenden Studie, wie die Abnahme der allgemeinen Aktivität mit der Wiederholung des Tests und die Zunahme der Exploration, stehen im Einklang mit den Ergebnissen anderer Studien, während andere Verhaltensweisen, wie Vokalisation und Exkretion, unterschiedliche Entwicklungen zeigen (von Borell and Ladewig, 1992; Hessing et al., 1994; Ruis et al., 2000, 2001b; Kanitz et al., 2004; Puppe et al., 2007). Forkman et al. (2007) und Boissy (1995) argumentieren in ihren Übersichtsarbeiten, dass z. B. unterschiedliche Versuchsbedingungen, Rassen, Geschlechter, Altersklassen, Parameter und Vorerfahrungen der Tiere zum Teil konträre Ergebnisse liefern können und daher eine Vergleichbarkeit zwischen den Studien verschiedener Arbeitsgruppen und eine eindeutige Interpretation einzelner Verhaltensweisen erschwert wird.

Es wird allgemein angenommen, dass bei Tieren zwei wichtige Motivationen in einem *open field* Test mehr oder weniger konkurrieren: die Exploration der unbekanntem Umgebung und die soziale Motivation zur Gruppe zurückzukehren. Die soziale Motivation wird als vorherrschend angesehen und durch die Isolation während des Tests werden damit negative Emotionen wie Angst bzw. Ängstlichkeit assoziiert (Boissy, 1995; Forkman et al., 2007; Siegford et al., 2008). Somit kann die erhöhte Aktivität während des ersten Tests eher der sozialen Motivation als der Exploration zugeschrieben werden. Eindeutigere Indikatoren für Exploration als die Lokomotion, nämlich der Kontakt mit dem unbekanntem Objekt und mit der Arenabegrenzung, nehmen mit der Wiederholung des Tests zu und weisen darauf hin, dass die Motivation zur Exploration zunehmend an Bedeutung gewinnt. Dem Ausmaß an Vokalisation wird ebenfalls soziale Motivation zugrunde gelegt. Die Zunahme der Vokalisation und Exkretion unter gleichzeitiger Abnahme der Lokomotion im Laufe der Testwiederholungen deutet an, dass die soziale Motivation bei wiederholter Isolation nicht nachlässt (Müller and Schrader, 2005), sondern sich eher in einer Verschiebung der Bewältigungsstrategie äußert. Im ersten Verhaltenstest lag eher eine aktive Vermeidungsstrategie mit erhöhter allgemeiner Aktivität vor, die mit der Wiederholung des Tests in eine passive Vermeidungsstrategie mit weniger allgemeiner Aktivität, aber erhöhter Vokalisation und Exkretion als Indikatoren für soziale Motivation und emotionale Erregung überging (Wechsler, 1995; Koolhaas et al., 1999).

Bei der Analyse der Absolutwerte aller 3 Testwiederholungen, traten wesentlich mehr Verhaltensweisen auf, die von der Testwiederholung beeinflusst wurden, als bei der Analyse der Differenzwerte. Dies zeigt, dass bereits vom ersten Verhaltenstest zum zweiten eine merkliche Habituation stattgefunden hat, die sich in abgeschwächter Form fortsetzte, da die Testsituation schon bei der ersten Wiederholung nicht mehr neu für die Schweine war (Forkman et al., 2007) und Neuheit ein wichtiges Kriterium ist bei der Bewertung von und emotionalen Reaktion auf Umweltreize (Désiré, 2004; Scherer et al., 2006).

Tab. 4.6: Veränderung des Verhaltens mit Wiederholung des externen Verhaltenstests; die Pfeile geben die Richtung der Veränderung an mit Wiederholung des Verhaltenstests; ↑ = Zunahme der Verhaltensweise, ↓ = Abnahme der Verhaltensweise.

| Verhalten | Habituations-Effekt | Parameter |
|-----------------------------|---------------------|---|
| allgemeine Aktivität | ↓ | Lokomotion ↓, Stehen ↑ |
| Exploration | ↑ | Wandkontakt ↑, Objektkontakt ↑, Objektannäherung ↓ |
| emotionale Erregung | ↑ | Grunzen ↑, Exkretion ↑ |

4.3.2 Veränderungen der Physiologie durch Habituation

Eine deutliche Habituation der Schweine an die Testsituation ließ sich auch auf physiologischer Ebene nachweisen (Tab. 4.7). Im Laufe der Testwiederholungen nahm die Herzfrequenz ab, die Aktivität des Vagus (vorrangig sichtbar am RMSSD-Wert) und damit die regulatorische Flexibilität des autonomen Nervensystems zu (Parameter der RQA). Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, hatte das zunehmende Alter bzw. Gewicht der Schweine einen allgemeinen, dämpfenden Effekt auf die Herzfrequenz, aber nicht auf die Parameter der Herzschlagvariabilität. Somit kann die Abnahme der Herzfrequenz mit der Wiederholung des Verhaltenstests (9., 12. und 16. Lebenswoche) nicht unbedingt auf die Zunahme der vagalen Aktivität zurückgeführt werden. Einen Hinweis auf die Veränderung der sympathischen Aktivität lieferten die verwendeten physiologischen Parameter nicht. Es kann nur vermutet werden, dass die Aktivität des Sympathikus im ersten Verhaltenstest recht hoch war (geringe Vagus-Aktivität und geringe regulatorische Flexibilität; Visser et al. (2002)) und sich anschließend durch den zunehmenden Einfluss des Vagus etwas verringerte, aber dennoch eine gewisse Rolle spielte, worauf die ethologischen Indikatoren für emotionale Erregung (Vokalisation, Exkretion) hindeuten.

Wie bei den ethologischen Parametern hatte die Testwiederholung bei der Analyse der Absolutwerte auf deutlich mehr physiologische Parameter einen Einfluss als bei den Differenzwerten. Diese Tatsache bestätigt die Ergebnisse der ethologischen Parameter, die ebenfalls anzeigten, dass die wesentliche Habituation bereits vom ersten zum zweiten Verhaltenstest stattgefunden hatte. Im Gegensatz zu den ethologischen Parametern wiesen die signifikanten physiologischen Veränderungen der Differenzwerte, bis auf die Herzfrequenz (SDNN, RMSSD, LF), eine entgegengesetzte Entwicklung zu den Absolutwerten auf. Zurückzuführen war dies auf die höheren Werte im zweiten als im dritten Test, also einem Abfall, wobei bei beiden Wiederholungen im Vergleich zum ersten Verhaltenstest ein Anstieg vorlag. Diese diskontinuierliche Entwicklung mag auf eine nicht graduell verlaufende Entwicklung in der Aktivität von Sympathikus und Vagus zurückzuführen sein (d. h. allmähliche Abnahme der sympathischen und gleichzeitige allmähliche Zunahme der vagalen Aktivität). Denkbar wäre z. B. eine Aktivierung des Vagus im zweiten Test, um die hohe sympathische Aktivität zu kompensieren und anschließend im dritten Test eine gleichzeitige Verringerung der sympathischen und vagalen Aktivität unter Beibehaltung der Balance im autonomen Nervensystem. Da, wie bereits erwähnt, anhand der vorliegenden Ergebnisse keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Aktivität des Sympathikus gezogen werden können und auch diesbezüglich in der Fachliteratur keine vergleichbaren Untersuchungen vorliegen, ist diese Erklärung der Ergebnisse rein hypothetisch.

4.3.3 Physiologische Reaktion auf das novel object

Die Präsentation des unbekanntes Objektes hatte nur wenig Auswirkungen auf die physiologischen Parameter und lieferte sogar widersprüchliche Ergebnisse (entgegengesetztes Verhalten der als positiv korrelierend angesehenen Parameter SDNN und LF sowie entgegengesetzte Entwicklung bei Absolut- und Differenzwerten) bei Parametern, die nicht eindeutig der sympathischen oder vagalen Aktivität zugeordnet werden können. Dies deutet darauf hin, dass mit der Habituation an die Testsituation auch eine Veränderung der Reaktion auf ein unbekanntes Objekt einherging,

Tab. 4.7: Physiologische Veränderungen mit Wiederholung des externen Verhaltenstests; die Pfeile geben die Richtung der Veränderung an mit Wiederholung des Verhaltenstests; \uparrow = Zunahme der physiologischen Aktivität bzw. ansteigende Werte der Parameter, \downarrow = Abnahme der physiologischen Aktivität bzw. abnehmende Werte der Parameter.

| Physiologie | Habituations-Effekt | Parameter |
|-----------------------------|---------------------|---|
| Sympathikus | ? | |
| Vagus | \uparrow | RMSSD \uparrow , SDNN \uparrow , RMSSD/SDNN \uparrow |
| regulatorische Flexibilität | \uparrow | %rec \downarrow , %det \downarrow , det/rec \uparrow , MaxL \downarrow , Entropie \downarrow , trend \downarrow |

ohne dass diese genauer beschrieben werden kann. Des Weiteren existieren Hinweise aus anderen Studien, die zeigen, dass die Reaktion auf ein unbekanntes Objekt im *open field* affektiv und von relativ kurzer Dauer ist (Hessing et al., 1994; Ruis et al., 2001b), so dass die Betrachtung der 5 Minuten des *novel object* Abschnittes als Ganzes vermutlich zu grob war, um deutlichere physiologische Reaktionen und Veränderungen nachzuweisen.

4.3.4 Einfluss der Behandlungsgruppe auf das Verhalten

Auch bei der Analyse hinsichtlich des Einflusses des Versuchsaufbaus auf das Verhalten der Schweine im *open field* / *novel object* Test traten deutlich mehr Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe bei Verwendung der Absolutwerte auf, als bei Betrachtung der Differenzwerte. Es ist zu bemerken, dass bereits im ersten Verhaltenstest vor Beginn der Versuchsperiode einige Unterschiede im Verhalten zwischen den beiden Behandlungsgruppen aufgetreten waren. Darunter Verhaltensweisen wie Lokomotion, Exkretion und Wandkontakt, bei denen bei der Analyse der Absolutwerte aller 3 Tests ebenfalls Unterschiede zwischen den Versuchs- und Kontrollgruppe nachgewiesen wurden, bei der Betrachtung der Differenzwerte allerdings nicht. Es ist möglich, dass sich die im ersten Test nachgewiesenen, grundlegenden Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen in den Wiederholungen des Tests fortgesetzt haben, so dass insgesamt ein Effekt der Behandlungsgruppe auftrat, bei der relativen Veränderung im Zuge der Habituation jedoch nicht. Somit können die entsprechenden Parameter nicht mit in die Diskussion einbezogen werden.

Bei einigen Verhaltensweisen konnten Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen nachgewiesen werden ohne dass diese sich bereits vor Versuchsbeginn unterschieden, darunter Stehen, Wandkontakt, Grunzen, Objektannäherung und -kontakt. Die z. T. auftretenden unterschiedlichen Entwicklungen der Größen Häufigkeit und mittlere Dauer bei einigen Verhaltensweisen, ist damit zu erklären, dass sich die mittlere Dauer aus dem Verhältnis von Gesamtdauer und Häufigkeit ergab, so dass eine Veränderung der Häufigkeit im Nenner, bei gleich bleibender bzw. unverhältnismäßiger Veränderung der Gesamtdauer, zwangsläufig zu einer entgegengesetzten Veränderung der mittleren Dauer führte. Das bedeutet, dass die Schweine ein bestimmtes Verhalten zwar weniger oft, dafür aber längere Zeit ohne Wechsel des Verhaltens zeigten und umgekehrt.

Die Tiere der Versuchsgruppe wiesen scheinbar weniger allgemeine Aktivität in Form von längeren Phasen des Stehens auf, wobei sich die Gesamtzeit dieses Verhaltens nicht von der Kontrollgruppe unterschied. Während der Durchführung der Verhaltenstests konnte beobachtet werden, dass die Schweine oftmals nicht inaktiv standen, sondern im Stehen den Boden der Testarena mit ihrer Schnauze bearbeiteten. Im vorliegenden Versuch wurde Stehen als reine lokomotorische Inaktivität angesehen und nicht von weiteren möglichen Aktivitäten, wie z. B. Untersuchung des Bodens, unterschieden. Dabei kann eine aktive Untersuchung/Bearbeitung des Arenabodens als Explorationsverhalten angesehen werden. Da weitere Indikatoren für eine geringere allgemeine Aktivität bei der Versuchsgruppe fehlen (die Lokomotion unterschied sich bereits im ersten Verhaltenstest vor Beginn der Versuchsperiode), könnten die längeren Phasen des Stehens ihre Ursache in der vermehrt auftretenden Exploration des Arenabodens haben, zumal sich ein stärker

ausgeprägtes Explorationsverhalten in der Versuchsgruppe auch noch in häufigerem, längerem und schnellerem Kontakt mit der Arenabegrenzung, häufigerer Annäherung an das unbekannte Objekt sowie längerer Beschäftigung mit dem Objekt zeigte. Ein eindeutiger Unterschied in der emotionalen Erregung zwischen den Behandlungsgruppen konnte nicht nachgewiesen werden. Zwar wies die Versuchsgruppe weniger Exkretion auf, doch dieses tat sie bereits vor Beginn der Versuchsperiode. Einziger Unterschied war eine Verringerung der Vokalisationshäufigkeit, die von längeren Phasen der kontinuierlichen Vokalisation ausgeglichen wurde, so dass insgesamt keine Unterschiede in der Gesamtvokalisation auftraten (Tab. 4.8).

Tab. 4.8: Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe im externen Verhaltenstests; \uparrow = stärkere Ausprägung des Verhaltens bei der Versuchsgruppe, \rightarrow = keine Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen.

| Verhalten | Versuchs-Effekt | Parameter |
|-----------------------------|-----------------|--|
| allgemeine Aktivität | \rightarrow | |
| Exploration | \uparrow | Wandkontakt \uparrow , Objektkontakt \uparrow , Objektannäherung \uparrow |
| emotionale Erregung | \rightarrow | |

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich die beiden Behandlungsgruppen hinsichtlich ihrer sozialen Motivation nicht wesentlich voneinander unterscheiden, die Versuchsgruppe aber eine stärker ausgeprägte Motivation zur Exploration aufwies.

Einige Studien bestätigen, dass Schweine aus einer angereicherten Haltungsumwelt mehr Exploration aufweisen (Beattie et al., 2000; Morrison et al., 2007; Puppe et al., 2007). Diskutiert wurde dieses Ergebnis mit einer geringeren Ängstlichkeit und besseren Adaptionsfähigkeit der Tiere aus der angereicherten Umwelt an neue Situationen. In diesen Studien wurde strukturelle, kognitive und/oder Substrat-Anreicherung verwendet, die alle die Motivation zur Exploration ansprechen und bei denen aktives, zielorientiertes Verhalten der Schweine belohnt wurde (Spruijt et al., 2001; Puppe et al., 2007; Studnitz et al., 2007). Auch in der vorliegenden Studie war dies der Fall, was zu einer stärker ausgeprägten Motivation zur Exploration und Anzeichen von geringerer Ängstlichkeit in der externen Belastungssituation führte. In der Arbeit von Puppe et al. (2007) zeigten die Schweine mit kognitiver Umwelтанreicherung zudem weniger allgemeine Aktivität und eine geringere emotionale Erregung, die auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie andeuten und die auf eine schwächer ausgeprägte soziale Motivation hindeuten, die mit Emotionen wie Angst in Verbindung gebracht werden (Boissy, 1995; Forkman et al., 2007; Siegford et al., 2008).

Das ähnliche Versuchsdesign von Puppe et al. (2007) umfasste 14 Wochen, mit den Wiederholungen des Verhaltenstests nach 6 und 12 Wochen. Dabei konnten nach 6 Wochen mehr tendenzielle als signifikante Unterschiede zu konventionell gehaltenen Kontrolltieren nachgewiesen werden. Nach 12 Wochen traten jedoch eine ganze Reihe deutlicher Abweichungen auf. Das Versuchsdesign der vorliegenden Studie war mit 7 Wochen wesentlich kürzer konzipiert. Möglicherweise sind die relativ geringen Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen auf diese kürzere Dauer zurückzuführen, da sich stabile Unterschiede in der Verhaltensreaktivität erst allmählich über einen längeren Zeitraum entwickeln. Beattie et al. (2000) und Morrison et al. (2007) verwendeten zwar nur einen Verhaltenstest um die Auswirkungen von Umwelтанreicherung auf Schweine zu untersuchen, doch diesen nachdem die Tiere 18 Wochen bzw. 13 Wochen in angereicherter Haltungsumwelt lebten. Dabei traten dann sehr deutliche Unterschiede zwischen den Tieren aus der angereicherten Haltungsumwelt und konventionell gehaltenen auf.

4.3.5 Einfluss der Behandlungsgruppe auf die Physiologie

Bei den Parametern der Herzschlagvariabilität wiesen die Schweine der Versuchsgruppe tendenziell einen höheren HF-Wert auf, der ein Indikator für eine höhere Vagus-Aktivität ist (Després et al., 2002). Allerdings konnte ein signifikant höherer HF-Wert bei den Versuchstieren bereits im ersten *open field / novel object* Test vor Beginn der Versuchsperiode nachgewiesen werden, worauf

vermutlich der tendenzielle Einfluss bei der Analyse der Absolutwerte zurückzuführen war. Somit lagen auf physiologischer Ebene keine Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen vor.

Beattie et al. (2000) haben während des Verhaltenstests ihrer Studie ebenfalls die Herzschlagaktivität erfasst, allerdings nur die Herzfrequenz. Auch in dieser Studie konnten kaum Unterschiede nachgewiesen werden und diese auch hauptsächlich in der ersten Minute des Tests. Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, weisen einige Studien darauf hin, dass die physiologische Reaktion auf neue Situationen, wie das *open field* oder das *novel object*, affektiv sowie von relativ kurzer Dauer ist und damit auf physiologischer Ebene allgemein eine hohe Adaptionsfähigkeit vorliegt, nicht nur mit der Wiederholung des Verhaltenstests, sondern auch innerhalb eines Verhaltenstests (Hessing et al., 1994; Ruis et al., 2001b; Korte et al., 2007). Es könnte in diesem Fall empfehlenswert sein, physiologische Veränderungen im Bereich von wenigen Minuten oder sogar Sekunden zu analysieren, wie bei der affektiven Reaktion auf den Stimulus „Futter“ in der vorliegenden Studie.

Möglich ist auch, dass sich, ähnlich der Verhaltensreaktivität, auch in der physiologischen Reaktivität stabile Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen eher längerfristig herausbilden, worauf die Ergebnisse von Beattie et al. (2000) hindeuten.

4.4 Methoden

4.4.1 Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität

Das System von Polar[®] erwies sich trotz einiger Probleme als probate Methode, um die Herzschlagaktivität sowie affektive und emotionale Reaktionen von Schweinen nicht invasiv, in einer sozialen Gruppe, in der normalen Haltungsumwelt zu erfassen. Bei der Verwendung in Gruppenhaltung erwies es sich als sehr nützlich, einen stabilen Schutzgurt über den flexiblen Messgurt anzulegen, da es sonst zu erheblichen technischen Verlusten gekommen wäre. Des Weiteren konnte mit einem entsprechenden Handling der Tiere vor Beginn der Versuchsperiode das Anlegen der Gurte für die Messung erleichtert und Disstressreaktionen der Tiere vermieden werden, die die Messung und auch das Wohlbefinden der Schweine möglicherweise beeinträchtigt hätten. Kontaktverluste zwischen dem Messgurt und der Empfangseinheit, was zu Fehlern in den Datenreihen führte, hielten sich in Grenzen und der Verlust von Daten konnte durch die Überprüfung des Messsystems nach 1.5 Stunden der 3-stündigen Messungen reduziert werden.

Die Erfassung der Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität erwies sich als sensibles Verfahren, um die Aktivität im autonomen Nervensystem und deren Veränderungen zu erfassen. Diese lassen Rückschlüsse auf organismusinterne, autonome und zentrale Vorgänge zu, die nicht nur physiologische, sondern auch affektive und emotionale Reaktionen anzeigen, die bei der wissenschaftlichen Evaluierung von Wohlbefinden durchaus von Bedeutung sind (Mendl and Paul, 2004; Boissy et al., 2007b; von Borell et al., 2007).

Dabei sollte berücksichtigt werden, ob affektive Reaktionen untersucht werden sollen oder die grundlegende Aktivität im autonomen Nervensystem. Der Hauptregulator im autonomen Nervensystem ist der Vagus, der seine größte Aktivität zeigt, wenn sich der Organismus in Ruhe befindet (Porges, 1995a). Daher ist es angebracht die regulatorische Leistungsfähigkeit des autonomen Nervensystems am ruhenden Tier zu untersuchen, da eine Beeinträchtigung des Organismus, im Sinne der allostatischen Belastung von Korte et al. (2007), zu einer Einschränkung der Regulationsfähigkeit führt, die sich in einem verringerten Vagus-Tonus widerspiegelt. Während physischer Aktivität, die je nach Individuum, Tageszeit und Situation sehr unterschiedlich ausfallen kann, ist die Aktivität des Vagus mehr oder weniger verringert, um aktives Verhalten zu ermöglichen. Das wiederum kann die tatsächliche Regulationsfähigkeit des Vagus maskieren. Für eine genaue Analyse werden daher längere Zeitabschnitte mit konstantem Verhalten, also Liegen oder Schlafen, empfohlen (Camm et al., 1996).

Affektive Reaktionen auf Situationen oder Stressoren sind in der Regel von relativ kurzer Dauer und werden meist von einem Wechsel im Verhalten begleitet. Dies macht eine Analyse von langen Zeitabschnitten ungeeignet, da kurz anhaltende Reaktionen darin untergehen und der Verhaltenswechsel die Interpretation erschwert. In diesem Fall ist eine kleinskalige Analyse im Bereich von wenigen Minuten oder sogar Sekunden, wie sie in der vorliegenden Studie anhand von

10-Sekunden-Intervallen angewandt wurde, angebracht. Es wäre zu überlegen, ob eine weitere Verkürzung der Zeitintervallen auf 5 s sinnvoll ist, da eine Aktivierung des Sympathikus erst nach 5 s einen Effekt auf die Herzschlagaktivität hat, während eine Aktivierung des Vagus sofort Wirkung zeigt (Hainsworth, 1995). Sehr schnelle Reaktionen auf externe Anforderungen könnten zunächst von einem raschen Rückgang der vagalen und etwas verzögert von einer Zunahme der sympathischen Aktivität begleitet werden. Bei der Analyse von 5-Sekunden-Intervallen könnte somit eine differenziertere Aussage gemacht werden.

Die in der vorliegenden Studie verwendeten Methoden für die Bestimmung der Herzschlagvariabilität, wie Zeitbereichs-, Frequenzbereichs- und nicht lineare Analyse, haben in Bezug auf die Länge der analysierten Zeitabschnitte verschiedene Einschränkungen. Bei der Frequenzbereichs-Analyse z. B., die eine Spektralanalyse mittels Fourier-Transformation ist, erreicht man eine höhere zeitliche Genauigkeit, d. h. kurze Zeitintervalle, nur auf Kosten der Genauigkeit im Frequenzspektrum, was die Aussagekraft der Ergebnisse vermindert. Daher wird bei einer Frequenzbereichs-Analyse generell empfohlen, möglichst lange Abschnitte mit konstantem Verhalten zu untersuchen (Camm et al., 1996; von Borell et al., 2007). Dafür ist diese Analyse aber relativ resistent bei der Verwendung unterschiedlich langer Messabschnitte, wenn man relativ lange Abschnitte verwendet. D. h., für eine kleinskalige Analyse der Herzschlagvariabilität ist diese Methode ungeeignet. Bei der Recurrence Quantification Analyse (RQA) hingegen ist die Verwendung unterschiedlich langer Messabschnitte bzw. unterschiedlich vieler Datenpunkte problematischer, da mit steigender Datenmenge, aus der Erfassung eines Systems, dem physiologische Grenzen gesetzt sind, auch die Wahrscheinlichkeit zunimmt, dass das System ähnliche Zustände einnimmt. Somit unterliegt diese Methode nicht so einer starken zeitlichen Einschränkung wie die Frequenzbereichs-Analyse, solange die Messabschnitte bzw. Datenmengen annähernd gleich sind. Diese Tatsache macht die RQA zu einer potenziell geeigneten Methode zur kleinskaligen Analyse der Herzschlagvariabilität im nicht linearen Bereich. Ebenso verhält es sich mit der Zeitbereichs-Analyse, die durch die einfache Berechnung der Parameter eine simple, aber dennoch aussagekräftige Methode ist, mit der man eine hohe zeitliche Genauigkeit erreichen kann, ohne an Aussagekraft einzubüßen. Zu sehen war dies in der vorliegenden Studie bei der Untersuchung der affektiven Reaktion auf den Stimulus „Futter“. Aber auch andere Studien bedienen sich der kleinskaligen Analyse der Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im Zeitbereich, um affektive Reaktionen zu untersuchen (Hessing et al., 1994; Désiré, 2004; Désiré et al., 2006; Greiveldinger et al., 2007).

In der vorliegenden Studie erwies sich die Zeitbereichs-Analyse, sowohl bei längeren, als auch bei kurzen Messabschnitten als gute Methode, um Veränderungen der Aktivität im autonomen Nervensystem aufgrund verschiedener Herausforderungen nachzuweisen. Auch die RQA reagierte auf mehr oder weniger starke Belastungen sensibel. So zeigte sie z. B. eine Einschränkung der basalen regulatorischen Flexibilität der Kontrollgruppe an, die in der Zeitbereichs-Analyse nicht auftrat. Die Frequenzbereichs-Analyse, obwohl vor allem in der Humanmedizin hauptsächlich verwendet, war in der vorliegenden Studie weniger gut geeignet. Es wird berichtet, dass die Parameter der Zeitbereichs- und Frequenzbereichs-Analyse hoch korrelativ sind (Kuwahara et al., 1994; Kautzner and Hnatkova, 1995), doch dies war in dieser Arbeit nicht der Fall. Zudem traten sowohl bei der Analyse der Basalwerte als auch bei der Analyse der Verhaltenstests kaum oder gar keine Veränderungen auf. Im Gegensatz zur Zeitbereichs-Analyse, deren Parameter nach festgelegten statistischen und vor allem einfachen Gleichungen berechnet werden, ist die Berechnung der Parameter der Frequenzbereichs-Analyse relativ komplex. Aufgrund der nicht-äquidistanten Datenpunkte muss eine Interpolation mit anschließendem Resampling durchgeführt werden, wobei diverse Interpolations-Algorithmen und Möglichkeiten für Resampling-Raten existieren. Auch für die anschließende Fourier-Transformation liegen verschiedene Algorithmen vor. Die letztendliche Berechnung der Parameter hängt von der Festlegung der Grenzen für die Frequenzbereiche ab. Während in der Humanmedizin die Frequenzbereiche gut bekannt sind, gibt es in der Fachliteratur nur wenige Angaben über die Frequenzbereiche von Schweinen, zumal sich diese mit zunehmendem Alter bzw. Gewicht noch verschieben (Kuwahara et al., 1999; von Borell et al., 2007). Möglicherweise ist eine falsche Festlegung der Frequenzbereiche die Ursache für die fehlenden Resultate in der Frequenzbereichs-Analyse und damit die fehlende Korrelation mit den Parametern der Zeitbereichs-Analyse in der vorliegenden Studie.

Die nicht invasive Messung der Herzschlagaktivität erlaubt letztendlich nur eindeutige Aussagen über die Aktivität des Vagus und deren Veränderung. Rückschlüsse auf die sympathische Aktivität können, wenn überhaupt, nur indirekt gemacht werden. Für eine genaue Beschreibung der Vorgänge im autonomen Nervensystem und Rückschlüsse auf emotionale Veränderungen wäre die eindeutige Erfassung der Aktivität im sympathischen Nervensystem sehr hilfreich. Doch diese erweist sich als nicht ganz einfach und teilweise als invasiv. Entsprechende Methoden stammen fast ausschließlich aus der Humanmedizin wie z. B. Hautleitfähigkeit (Piccini et al., 2003), Hauttemperaturvariabilität, Photoplethysmographie (Shusterman and Barnea, 2005; Merla and Romani, 2007), Blutdruckvariabilität (Julien, 2006), α -Amylase im Speichel (Granger et al., 2007), Adrenalin- bzw. Noradrenalinegehalt im Blut und Microneurographie zur Bestimmung der Muskelsympathischen bzw. Haut-sympathischen Aktivität (Grassi and Esler, 1999; Hilz and Dutsch, 2006; Sinski et al., 2006; Wallin and Charikoudian, 2007). Die genannten Methoden wurden, wenn überhaupt an Tiermodellen, dann an Nagetieren unter kontrollierten Laborbedingungen verwendet, d. h., es wäre zu überprüfen, inwieweit diese Methoden für die Bestimmung der sympathischen Aktivität bei Schweinen bzw. landwirtschaftlichen Nutztieren unter normalen Haltungsbedingungen geeignet sind.

4.4.2 Verhaltenstest

Allgemein kann der *open field / novel object* Test als geeignetes Verfahren angesehen werden, um die Auswirkungen von Umwelanreicherung zu untersuchen, insbesondere im Bereich des Verhaltens (Bracke and Spooler, 2008). Dabei sollten die erfassten Verhaltensweisen mit Bedacht ausgewählt und sorgfältig erfasst werden. z. B. sollte zwischen inaktivem Stehen und aktiver Exploration des Bodens im Stehen oder während der Lokomotion unterschieden werden. Des Weiteren wäre es sinnvoll die Erfassung der Vokalisation dahingehend genauer zu gestalten, dass diese aufgezeichnet und eingehender analysiert wird, da Vokalisationen sensible Stressindikatoren sind (Manteuffel et al., 2004; Schön et al., 2004; Puppe et al., 2005b; Döpjan et al., 2008). Zudem sollte überprüft werden, inwieweit sich die Dauer der Haltung in einer angereicherten Umwelt auf längere Sicht auf das Verhalten und die Physiologie von Schweinen im *open field* auswirkt.

Die physiologische Untersuchung in Form der nicht invasiven Erfassung der Herzschlagaktivität erwies sich als deutlicher Indikator für physiologische Habituation an die wiederholt auftretende Testbedingung, verfehlte es aber, Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen nachzuweisen. Eine genaue Erfassung der Herzschlagaktivität in Form der RR-Intervalle bietet nicht nur die Möglichkeit daraus die Herzschlagvariabilität zu bestimmen, sondern auch beliebig lange bzw. kurze Abschnitte zu untersuchen. Die Analyse kürzerer Abschnitte im Bereich von wenigen Minuten oder sogar Sekunden, insbesondere am Beginn des Verhaltenstests und bei der Einführung des *novel objects*, könnte sich als geeigneter herausstellen, um Unterschiede zwischen verschiedenen Behandlungsgruppen nachzuweisen. Auch während des Verhaltenstests wäre es sinnvoll, Parameter zu erfassen, die eindeutige Indikatoren für die Aktivität des sympathischen Nervensystems sind, da dann genauere Rückschlüsse auf die Organismus-internen Vorgänge gemacht werden können.

Es ist zu überdenken, ob die dreimalige Durchführung des Verhaltenstests notwendig ist, da die stärkste Habituation in Verhalten und Physiologie bereits vom ersten zum zweiten Test stattgefunden hat und kaum Unterschiede zwischen dem zweiten und dritten Test auftraten.

4.5 Zusammenfassende Diskussion und Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen die hervorragenden kognitiven Leistungen von Schweinen (Mendl et al., 1997; Laughlin and Mendl, 2000; Ernst et al., 2005; Puppe et al., 2007; Ferguson et al., 2009; Kouwenberg et al., 2009). Die gestellten Aufgaben der operanten Konditionierung in Form des Erlernens individueller Tonsignale und ein- bzw. mehrmaligen Betätigen eines Schalters wurden rasch gelernt und eine konstant hohe Bewältigungskompetenz etabliert.

In der Zeit, in der zentrale Lern- und Gedächtnisbildungsvorgänge stattfanden, zeigte sich eine grundlegende, allgemeine Aktivierung des autonomen Nervensystems, also des Sympathikus und des Vagus. Dies weist darauf hin, dass die Entwicklung neuer Strategien zur Bewältigung

von Umweltaforderungen mit emotionaler Erregung einherging, die die adaptiven Lernprozesse vermutlich unterstützte (McGaugh, 2004). Dabei wurde die Balance im autonomen Nervensystem aufrechterhalten und die regulatorische Flexibilität nicht längerfristig beeinträchtigt, was den Schluss zulässt, dass die emotionale Erregung während der aktiven Lernprozesse von positiver Valenz für die Tiere war.

Die Konditionierung auf Tonsignale führte zu einer affektiven, sympathisch vermittelten Antizipationsreaktion, die in diversen Studien sowohl in aversivem als auch in appetitivem Kontext nachgewiesen wurde (z. B. Billman et al. (1978); Randall et al. (1985); Braesicke et al. (2005); Inagaki et al. (2005); Uchiyama et al. (2007)) und die eine entsprechend hohe appetitive Motivation der Schweine widerspiegelt (Manteuffel et al., 2009b). Es traten dabei mehr oder weniger deutliche physiologische Reaktionen der Tiere auf die Präsentation neuer Herausforderung auf. Es wird angenommen, dass neue Herausforderungen mit einem kurzzeitigen Verlust bzw. einer kurzzeitigen Bedrohung der Kontrolle und Emotionen wie Unsicherheit einhergehen, da neue Strategien entwickelt werden müssen, um die Herausforderungen zu bewältigen (Langbein et al., 2004). Die erstmalige Präsentation einer neuen Herausforderung in der vorliegenden Studie in Form der individuellen Aufrufe am Anfang der Versuchsphase 2, führte vermutlich zu einer geringfügigen Belastung der Tiere, zum einen durch die Herausforderung an sich und zum anderen durch die verringerte Futtermenge, bedingt durch den zunächst noch geringen Lernerfolg. Dies führte zu einer minimalen Verringerung der basalen regulatorischen Flexibilität des autonomen Nervensystems, wobei die Frage offen bleibt, ob sich dies aus der Herausforderung, aus der verringerten Futtermenge oder aus der Kombination der beiden Faktoren ergab. Neue Herausforderungen führten im Anschluss zu einer Verringerung der affektiven Antizipationsreaktion und einer verzögerten Verschiebung der autonomen Balance Richtung Vagus, vermutlich durch einen verzögerten Rückgang der sympathischen Aktivität. Durch den relativ schnellen Lernerfolg im weiteren Verlauf und damit ausreichenden Futtermengen wirkte sich die kurzzeitige Unsicherheit längerfristig nicht negativ aus, die Futteraufnahme blieb zu allen Zeitpunkten psychophysiologisch entspannt und auch die generelle regulatorische Flexibilität des autonomen Nervensystems war nicht dauerhaft eingeschränkt.

Erstmalig konnte gezeigt werden, dass die Konditionierung auf individuelle Tonsignale dazu führte, dass alle Tiere einer sozialen Gruppe selektiv nur auf ihr individuelles Tonsignal reagierten und dies nicht nur mit zielorientiertem Verhalten, sondern auch mit einer affektiven, physiologischen Reaktion. Ebenfalls zum ersten Mal konnte gezeigt und auch physiologisch nachgewiesen werden, dass eine entspannte Fütterung von einzelnen Schweinen in der Gruppe, ohne Separierung möglich ist (vgl. Weber et al. (1993)). Während der Futteraufnahme lag die Balance im autonomen Nervensystem deutlich auf Seiten des Vagus, während eine nur leicht erhöhte Herzfrequenz auf eine gewisse emotionale Erregung hinwies. Die übrigen Mitglieder der Gruppe zeigten keinerlei physiologische Reaktionen, weder auf den Aufruf noch auf die Futteraufnahme des gerufenen Tieres. Die Ergebnisse der individuellen Aufruffütterung deuten auf eine psychophysiologisch entspannte Fütterungssituation hin sowie auf eine positive emotionale Erregung bei den aufgerufenen Tieren. Durch die Konditionierung auf individuelle Tonsignale von den Futterautomaten standen den Schweinen eindeutige und zuverlässige Futter-Signale zur Verfügung, die kurzzeitige, positive Antizipation (Manteuffel et al., 2009b) und über aktives und zielorientiertes Verhalten eine gewisse Kontrolle über die Umwelt ermöglichten (Sambrook and Buchanan-Smith, 1997; Jones and Nicol, 1998), was potenzielle Quellen für Wohlbefinden sind (Spruijt et al., 2001).

Im Gegensatz dazu besaßen die konventionell gefütterten Kontrolltieren keine eindeutigen Futtersignale, was zu vorzeitigen, physiologischen Reaktionen auf diverse, unzuverlässige, Futter ankündigende Signale führte und die Zeit der Antizipation verlängerte. Zusammen mit der fehlenden Möglichkeit über aktives Verhalten die Fütterung zu beeinflussen und damit Kontrolle über ihre Umwelt auszuüben, sind diese Faktoren potenzielle Quellen für Frustration. Zusätzlich traten durch den eingeschränkten Zugang zum Futter, der in konventioneller Haltung üblich ist, kompetitive Auseinandersetzungen auf, was zusammen mit der geringen Situationskontrolle bei den Schweinen während der Futteraufnahme zu einer sympathisch bedingten, stark erhöht bleibenden Herzfrequenz bei unterdrücktem Vagus-Tonus führte sowie eine Einschränkung der grundlegenden regulatorischen Flexibilität im autonomen Nervensystems zur Folge hatte. Die Ergebnisse weisen

damit auf eine Belastung der konventionell gehaltenen Schweinen hin und zwar sowohl kurzfristig während der Fütterung als auch längerfristig unabhängig von der Fütterung.

Die Förderung von aktivem, zielorientiertem Verhalten durch adäquate, mit Futter belohnte Lernaufgaben, führte auch zu einem stärker ausgeprägten Explorationsverhalten und damit verringerter Ängstlichkeit in einer wiederholten, externen Belastungssituation in Form eines kombinierten *open field / novel object* Tests. Die nicht ausreichende Bestätigung dieser Ergebnisse durch physiologische Parameter kann durch die Form der Auswertung verursacht worden sein bzw. weisen andere Arbeiten darauf hin, dass sich stabile Veränderungen in der Verhaltensreaktivität und damit vielleicht auch der physiologischen Reaktivität, über einen längeren Zeitraum erstrecken (Beattie et al., 2000; Puppe et al., 2007).

Die Methodik der Herzschlagvariabilitäts-Analyse im Zeitbereich und im nicht linearen Bereich erwies sich als sensibles Verfahren, um Veränderungen in der Aktivität und Flexibilität des autonomen Nervensystems nachzuweisen, vor allem in Bezug auf den Vagus, der als Hauptregulator Organismus-interner Vorgänge eine wichtige Rolle spielt. Durch die enge Verknüpfung des autonomen mit dem zentralen Nervensystem konnten auf nicht invasive Weise Einblicke in interne Vorgänge gewonnen werden, die mit affektiven und emotionalen Reaktionen und mehr oder weniger starken Belastungen in Verbindung gebracht werden konnten. In der vorliegenden Studie wurde diese Methodik erstmals in einer intakten, sozialen Gruppe von Schweinen bei allen Tieren gleichzeitig angewendet, so dass zum einen ein paralleler Vergleich möglich war, z. B. zwischen einem Schwein, das aufgerufen wurde und den übrigen drei Schweinen, denen der Futteraufruf nicht galt und zum anderen konnten physiologische Basalwerte während des normalen Ruheverhaltens erfasst werden, ohne die Schweine durch die Anwesenheit einer Person zu beeinflussen.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit kann geschlussfolgert werden, dass die kognitive Anreicherung der Haltungsumwelt von Schweinen in Form von Lernaufgaben, die mit Futter belohnt wurden, zu einer positiven emotionalen Bewertung seitens der Tiere führt. Dies zeigte sich in einer psychophysiologisch entspannten Fütterungssituation, explorativerem und weniger ängstlichem Verhalten in einer externen Belastungssituation sowie einer autonomen Erregung während der aktiven Phase des Lernens ohne Beeinträchtigung der Balance oder regulatorischen Flexibilität im autonomen Nervensystem. Diese Ergebnisse sind Hinweise auf eine hohe Anpassungsfähigkeit auf ethologischer und physiologischer Ebene, die es den Schweinen ermöglicht Herausforderungen besser zu bewältigen. Während ihres Lebens sind Schweine zahlreichen Herausforderungen ausgesetzt. Eine hohe allgemeine Bewältigungskompetenz aufgrund positiver emotionaler Erfahrungen mit kognitiven Herausforderungen durch ein automatisches, in das bestehende Management leicht integrierbares Fütterungssystem, kann als wesentlicher Schritt zur Verbesserung des Wohlbefindens von Schweinen in intensiven Haltungssystemen angesehen werden. Angewendet werden könnte ein solches System z. B. bei dem Fütterungsmanagement von in Gruppen gehaltenen Sauen, wo es leicht in bereits vorhandene Abruffutterstationen integriert werden kann.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Ökonomisch orientierte, technisierte, intensive Haltungssysteme stellen einerseits hohe Anforderungen an die biologische Anpassungsfähigkeit von landwirtschaftlichen Nutztieren, konfrontieren diese aber andererseits mit einer monotonen und reizarmen Haltungsumwelt. Die dabei stattfindende sensorische und kognitive Unterforderung kann zu einem eingeschränkten und oft fehlgeleiteten Verhaltensrepertoire bis hin zur Beeinträchtigung von Gesundheit, Leistung und Produktqualität führen. Diesen offensichtlichen Anzeichen von beeinträchtigtem Wohlbefinden der Tiere liegen emotionale Wahrnehmungs- und Bewertungsmechanismen zugrunde.

Ziel der vorliegenden Studie war nachzuweisen, dass adäquate, kognitive Herausforderungen in Kombination mit wiederholten Futterbelohnungen zu einer positiven, emotionalen Bewertung bei Schweinen in Gruppenhaltung führt. Über die Ermöglichung von positiver Antizipation, appetitivem, zielorientiertem Verhalten, aktiver Kontrolle und Vorhersehbarkeit der Umwelt sowie der wiederholten Aktivierung von zentralen Belohnungsmechanismen sollte sich diese kognitive Umweltsanierung sowohl kurz-, als auch längerfristig positiv auf das Wohlbefinden der Tiere auswirken.

Zwischen der 10. und 16. Lebenswoche wurden 6 Versuchsgruppen mit jeweils 4 Schweinen über ein individuelles, akustisches und operantes Konditionierungsparadigma an Ton-Schalter-Futterautomaten mit Futter belohnt (1. Ton-Futter Assoziation, 2. Ton-Automaten Diskriminierung, 3. operante Arbeitsphase). Als Kontrolle dienten konventionell gefütterte Wurfgeschwistergruppen. Im Laufe des Versuches wurde die Bewältigungskompetenz der Versuchstiere sowie die Verhaltensreaktivität aller Schweine in einem wiederholten, standardisierten Verhaltenstest untersucht. Zudem wurde die Herzschlagaktivität und -variabilität der Tiere nicht-invasiv sowohl kurzfristig bei Belohnung bzw. Fütterung, als auch längerfristig unabhängig von der Fütterung in der normalen Haltungsumwelt sowie in den Verhaltenstests analysiert.

Die Versuchstiere lernten die gestellten Aufgaben innerhalb kurzer Zeit und erreichten eine hohe und stabile Bewältigungskompetenz. In der normalen Haltungsumwelt reagierten sowohl die Tiere der Versuchs-, als auch der Kontrollgruppe auf die Fütterung (individuelles Tonsignal vs. Platzierung des Futters im Trog) mit einer affektiven, sympathisch vermittelten Antizipationsreaktion in Form eines sprunghaften Anstiegs der Herzfrequenz. Dabei reagierte in der Versuchsgruppe jedes Schwein selektiv nur auf sein individuelles Tonsignal, auf die übrigen Töne hingegen nicht. Nach der affektiven Reaktion verlief die Futteraufnahme der Versuchstiere psychophysiologisch entspannt mit einer wieder verringerten Herzfrequenz und vorherrschend vagalem Einfluss. Durch die geringe Situationskontrolle in der Kontrollgruppe hielt die Aktivierung des Sympathikus an und deren Herzfrequenz blieb stark erhöht. Mit der Präsentation neuer Herausforderungen erfolgte bei den Versuchstieren längerfristig, im Bereich der physiologischen Ruhewerte, eine allgemeine Aktivierung des autonomen Nervensystems unter Aufrechterhaltung der Balance zwischen Sympathikus und Vagus. Dies weist auf eine positive, emotionale Reaktion der Schweine auf die gestellten Herausforderungen hin. Bei der Kontrollgruppe dagegen konnte längerfristig eine Einschränkung der regulatorischen Flexibilität im autonomen Nervensystem nachgewiesen werden, die ein Hinweis auf eine gewisse Belastung der Kontrolltiere ist. Im wiederholten Verhaltenstest wiesen die Versuchstiere im Gegensatz zu den Schweinen der Kontrollgruppen ein explorativeres und weniger ängstliches Verhalten auf.

Aus den vorliegenden Ergebnissen wird geschlussfolgert, dass kognitive Herausforderungen im Zusammenhang mit der Fütterung von Schweinen emotional positiv bewertet werden. Diese Form der Umweltsanierung führt längerfristig zu einer hohen Bewältigungskompetenz auf ethologischer und physiologischer Ebene, was ein wesentlicher Schritt zur nachhaltigen Verbesserung des Wohlbefindens von Schweinen in intensiven Haltungssystemen ist.

6. SUMMARY

Economically oriented, highly technical, intensive housing systems challenge the biological adaptability of farm animals. However, they also confront them with a monotonous and sensory-deprived housing environment. Sensory and cognitive hypostimulation can lead to a limited behavioral repertoire, as well as misdirected behaviors. This can impair health, performance and product quality. Mechanisms underlying these evident signs of impaired animal welfare include emotional perception and appraisal.

The aim of the present study was to demonstrate that adequate cognitive challenges in combination with repeated food rewards are appraised emotionally positive by group-housed pigs. Such challenges provide the opportunity of positive anticipation, as well as appetitive goal-directed behavior. Moreover, active control and predictability of the environment with the repeated activation of central reward mechanisms should positively affect animal welfare in the short and long term.

In an individual, acoustic, operant conditioning paradigm (1. tone-food-association, 2. call-station-discrimination, 3. operant working phase), domestic pigs (six experimental groups with four subjects each; age: 10 to 16 weeks) were rewarded with food on so-called call-feeding-stations. For control, conventionally fed sibling-groups were used. In the course of the experiment, the coping competence of the animals subjected to the conditioning paradigm was estimated. Additionally, the reactivity of all pigs was examined in a repeated, standardized behavioral test. Furthermore, the heart rate and heart rate variability of the animals were measured non invasively. They were analyzed both in the short term while being rewarded or fed, and in the long term independent of feeding in the normal housing environment as well as in the test situations.

The animals subjected to the conditioning paradigm learned the tasks within short time and reached a high and stable coping competence. When fed, the pigs of both the experimental (individual call) and the control group (placing food in trough) showed an activation of the sympathetic nervous system. This caused a sudden rise in heart rate, indicating affective anticipation. Moreover, each pig of the experimental group selectively responded to its own individual call but not to the others. Following the short-term affective response, experimental pigs were psychophysiologicaly unstressed during food consumption (reduced heart rate and predominant vagal influence). In contrast, in the control group the activation of the sympathetic nervous system continued and the elevated heart rate persisted, probably based on low control over the situation. In the experimental group the presentation of new challenges resulted in a general activation of the autonomic nervous system in the long term, while the balance between sympathetic nervous system and vagus were sustained. This points to a positive emotional reaction of the pigs to the challenges. In the control group a limited regulatory flexibility in the autonomic nervous system indicated a certain level of strain in the animals. Accordingly, in the repeated fear test the experimental animals showed more explorative and less fearful behavior than the control animals.

Based on the present results it is concluded that cognitive challenges associated with feeding are appraised emotionally positive by pigs. This kind of environmental enrichment leads to a high ethological and physiological coping competence in the long term, which is fundamental for a sustained improvement of pig welfare in intensive housing systems.

LITERATURVERZEICHNIS

- Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F. A., Shannon, D. C., Barger, A. C., and Cohen, R. J. (1981). Power spectrum analysis of heart-rate-fluctuation – A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*, 213:220–222.
- Andersen, I. L., Boe, K. E., Foerevik, G., Janczak, A. M., and Bakken, M. (2000). Behavioural evaluation of methods for assessing fear responses in weaned pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 69:227–240.
- Aschwanden, J., Gygax, L., Wechsler, B., and Keil, N. M. (2008). Cardiac activity in dairy goats whilst feeding side-by-side at two different distances and during social separation. *Physiology & Behavior*, 95(5):641–648.
- Azevedo, C. S., Cipreste, C. F., and Young, R. J. (2007). Environmental enrichment: A GAP analysis. *Applied Animal Behaviour Science*, 102:329–343.
- Bammert, J., Birmelin, I., Graf, B., Loeffler, K., Marx, D., Schnitzer, U., Tschanz, B., and Zeeb, K. (1993). An ethological approach to animal-welfare – The supply of needs and avoidance of damage. *Tierärztliche Umschau*, 48(5):269–280.
- Barnett, J. I. and Hemsworth, P. H. (1990). The validity of physiological and behavioral measures of animal-welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 25:177–187.
- Bassett, L. and Buchanan-Smith, H. M. (2007). Effects of predictability on the welfare of captive animals. *Applied Animal Behaviour Science*, 102:223–245.
- Beattie, V. E., O’Connell, N. E., Kilpatrick, D. J., and Moss, B. W. (2000). Influence of environmental enrichment on welfare-related behavioural and physiological parameters in growing pigs. *Animal Science*, 70:443–450.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., and Quigley, K. S. (1993). Respiratory sinus arrhythmia – Autonomic origins, physiological mechanisms, and psychophysiological implications. *Psychophysiology*, 30:183–196.
- Billman, G. E., Hasson, D. M., and Randall, D. C. (1978). Acquisition and discrimination of appetitively and aversively conditioned heart rate responses in rhesus monkeys. *Pavlovian Journal of Biological Science*, 13:145–150.
- Boissy, A. (1995). Fear and fearfulness in animals. *Quarterly Review of Biology*, 70(2):165–191.
- Boissy, A., Arnould, C., Chaillou, E., Désiré, L., Duvaux-Ponter, C., Greiveldinger, L., Leterrier, C., Richard, S., Roussel, S., Saint-Dizier, H., Meunier-Salaün, M., Valance, D., and 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., and Aubert, A. (2007b). Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. *Physiology & Behavior*, 92:375–397.

- Bolhuis, J. E., Schouten, W. G. P., de Leeuw, J. A., Schrama, J. W., and Wiegant, V. A. (2004). Individual coping characteristics, rearing conditions and behavioural flexibility in pigs. *Behavioural Brain Research*, 152:351–360.
- Botermans, J. A. M., Georgsson, L., Westrom, B. R., Olsson, A. C., and Svendsen, J. (2000). Effect of feeding environment on performance, injuries, plasma cortisol and behaviour in growing-finishing pigs: Studies on individual pigs housed in groups. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A – Animal Science*, 50(4):250–262.
- Bracke, M. B. M. and Spoolder, H. A. M. (2008). Novel object test can detect marginal differences in environmental enrichment in pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 109:39–48.
- Braesicke, K., Parkinson, J. A., Reekie, Y., Man, M. S., Hopewell, L., Pears, A., Crofts, H., Schnell, C. R., and Roberts, A. C. (2005). Autonomic arousal in an appetitive context in primates: A behavioural and neural analysis. *European Journal of Neuroscience*, 21:1733–1740.
- Broom, D. M. (1988). The scientific assessment of animal-welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 20:5–19.
- Broom, D. M. (1991). Animal-welfare – Concepts and measurement. *Journal of Animal Science*, 69:4167–4175.
- Broom, D. M. (1996). Animal welfare defined in terms of attempts to cope with the environment. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A – Animal Science*, Suppl. 27:22–28.
- Broom, D. M. and Johnson, K. G. (1993). *Stress and Animal Welfare*. Chapman & Hall, 1 edition.
- Burgdorf, J. and Panksepp, J. (2006). The neurobiology of positive emotions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30:173–187.
- 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., and Singer, D. H. (1996). Heart rate variability – Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17:354–381.
- Cannon, W. B. (1929). Organization for physiological homeostasis. *Physiological Reviews*, 9:399–431.
- Carlstead, K. (1986). Predictability of feeding – Its effect on agonistic behavior and growth in grower pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 16:25–38.
- Cerutti, S., Bianchi, A. M., and Mainardi, L. T. (1995). *Heart Rate Variability*, chapter Spectral analysis of the heart rate variability signal, pages 63–74. Futura Publishing Company, Inc.
- Cheung, M. N. (1981). Detection of and recovery from errors in cardiac interbeat intervals. *Psychophysiology*, 18:341–346.
- Cinelli, P., Deleonardis, V., Descalzi, M., Becucci, A., and Grazzini, M. (1987). Effect of age on mean heart-rate and heart-rate-variability. *Age*, 10(4):146–148.
- Clayton, E. C. and Williams, C. L. (2000). Adrenergic activation of the nucleus tractus solitarius potentiates amygdala norepinephrine release and enhances retention performance in emotionally arousing and spatial memory tasks. *Behavioural Brain Research*, 112(1-2):151–158.
- Cooper, S. J. (2008). From Claude Bernard to Walter Cannon. Emergence of the concept of homeostasis. *Appetite*, 51:419–427.

- Croiset, G., Nijssen, M. J. M. A., and Kamphuis, P. J. G. H. (2000). Role of corticotropin-releasing factor, vasopressin and the autonomic nervous system in learning and memory. *European Journal of Pharmacology*, 405(1-3):225–234.
- Dalmau, A., Fabrega, E., and Velarde, A. (2009). Fear assessment in pigs exposed to a novel object test. *Applied Animal Behaviour Science*, 117:173–180.
- Dantzer, R. (1991). Stress, stereotypies and welfare. *Behavioural Processes*, 25:95–102.
- Dantzer, R. (2002). Can farm animal welfare be understood without taking into account the issues of emotion and cognition? *Journal of Animal Science*, 80 E. Suppl. 1:E1–E9.
- Dawkins, M. S. (1990). From an animals point of view – Motivation, fitness, and animal welfare. *Behavioral and Brain Sciences*, 13(1):1–&.
- Dawkins, M. S. (2008). The science of animal suffering. *Ethology*, 114(10):937–945.
- de Jong, I. C., Prelle, I. T., van de Burgwal, J. A., Lambooi, E., Korte, S. M., Blokhuis, H. J., and Koolhaas, J. M. (2000a). Effects of environmental enrichment on behavioral responses to novelty, learning, and memory, and the circadian rhythm in cortisol in growing pigs. *Physiology & Behavior*, 68:571–578.
- de Jong, I. C., Sgoifo, A., Lambooi, E., Korte, S. M., Blokhuis, H. J., and Koolhaas, J. M. (2000b). Effects of social stress on heart rate and heart rate variability in growing pigs. *Canadian Journal of Animal Science*, 80(2):273–280.
- de Jonge, F. H., Tilly, S.-L., Baars, A. M., and Spruijt, B. M. (2008). On the rewarding nature of appetitive feeding behaviour in pigs (*Sus scrofa*): Do domesticated pigs contrafreeload? *Applied Animal Behaviour Science*, 114:359–372.
- Désiré, L. (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(4):363–374.
- Désiré, L., Boissy, A., and Veissier, I. (2002). Emotions in farm animals: A new approach to animal welfare in applied ethology. *Behavioural Processes*, 60:165–180.
- Désiré, L., Veissier, I., Despres, G., Delval, E., Toporenko, G., and 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.
- Després, G., Veissier, I., and Boissy, A. (2002). Effect of autonomic blockers on heart period variability in calves: Evaluation of the sympatho-vagal balance. *Physiological Research*, 51:347–353.
- Ding, H., Crozier, S., and Wilson, S. (2007). A new Heart rate variability analysis method by means of quantifying the variation of nonlinear dynamic patterns. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54(9):1590–1597.
- Dudink, S., Simonse, H., Marks, I., de Jonge, F. H., and 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.
- Duncan, I. J. and Petherick, J. C. (1991). The implications of cognitive processes for animal welfare. *Journal of Animal Science*, 69(12):5017–5022.
- Duncan, I. J. H. (2006). The changing concept of animal sentience. *Applied Animal Behaviour Science*, 100:11–19.

- Düpjan, S., Schön, P. C., Puppe, B., Tuchscherer, A., and Manteuffel, G. (2008). Differential vocal responses to physical and mental stressors in domestic pigs (*sus scrofa*). *Applied Animal Behaviour Science*, 114(1-2):105–115.
- Ernst, K., Puppe, B., Schön, P., and Manteuffel, G. (2005). A complex automatic feeding system for pigs aimed to induce successful behavioural coping by cognitive adaptation. *Applied Animal Behaviour Science*, 91(3–4):205–218.
- Ernst, K., Tuchscherer, M., Kanitz, E., Puppe, B., and Manteuffel, G. (2006). Effects of attention and rewarded activity on immune parameters and wound healing in pigs. *Physiology & Behavior*, 89:448–456.
- Ferguson, S. A., Gopee, N. V., Paule, M. G., and Howard, P. C. (2009). Female mini-pig performance of temporal response differentiation, incremental repeated acquisition, and progressive ratio operant tasks. *Behavioural Processes*, 80(1):28–34.
- Fiedler, I., Küchenmeister, U., Ender, K., Haider, W., Ernst, K., Puppe, B., and Manteuffel, G. (2005). Reaktion der Muskulatur auf eine stimulierende Haltung - Befunde am Kotelettmuskel (*M. longissimus*) von Landrasse-Schweinen. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 112:363–368.
- Forkman, B., Boissy, A., Meunier-Salaün, M. C., Canali, E., and Jones, R. B. (2007). A critical review of fear tests used on cattle, pigs, sheep, poultry and horses. *Physiology & Behavior*, 92:340–374.
- Fraser, D. and Duncan, I. J. (1998). 'Pleasures', 'pains' and animal welfare: Toward a natural history of affect. *Animal Welfare*, 7:383–396.
- Friedman, B. H. and Thayer, J. F. (1998). Autonomic balance revisited: Panic anxiety and heart rate variability. *Journal of Psychosomatic Research*, 44(1):133–151.
- Geverink, N., Schouten, W., Gort, G., and Wiegant, V. (2003). Individual differences in behaviour, physiology and pathology in breeding gilts housed in groups or stalls. *Applied Animal Behaviour Science*, 81:29–41.
- Glass, C., Hutchinson, W., and Beattie, V. (2005). Measuring the value to the public of pig welfare improvements: A contingent valuation approach. *Animal Welfare*, 14:61–69.
- Gonyou, H. W. (1986). Assessment of comfort and well-being in farm-animals. *Journal of Animal Science*, 62:1769–1775.
- Gonyou, H. W. (1993). Animal welfare: Definitions and assessment. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, Suppl. 2:37–43.
- Gräbner, M., Kanitz, E., and Otten, W. (2009). Pränataler Stress bei Nutztieren: Eine Übersicht. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, 122:73–81.
- Granger, D. A., Kivlighan, K. T., el Sheikh, M., Gordis, E. B., and Stroud, L. R. (2007). Salivary alpha-amylase in biobehavioral research - Recent developments and applications. In D. Malamud and R. S. Niedbala, editor, *Oral-Based Diagnostics*, volume 1098 of *Annals Of The New York Academy Of Sciences*, pages 122–144.
- Grassi, G. and Esler, M. (1999). How to assess sympathetic activity in humans. *Journal of Hypertension*, 17(6):719–734.
- Greiveldinger, L., Veissier, I., and Boissy, A. (2007). Emotional experience in sheep: Predictability of a sudden event lowers subsequent emotional responses. *Physiology & Behavior*, 92:675–683.
- Hagen, K. and Broom, D. M. (2004). Emotional reactions to learning in cattle. *Applied Animal Behaviour Science*, 85:203–213.

- Hainsworth, R. (1995). *Heart Rate Variability*, chapter The control and physiological importance of heart rate, pages 3–20. Futura Publishing Company, Inc.
- 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*. PhD thesis, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Hayne, S. M. (2003). Effects of regrouping on the individual behavioural characteristics of pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 82:267–278.
- Hessing, M. J. C., Hagelso, A. M., Schouten, W. G. P., Wiepkema, P. R., and Vanbeek, J. A. M. (1994). Individual behavioral and physiological strategies in pigs. *Physiology & Behavior*, 55:39–46.
- Hilz, M. J. and Dutsch, M. (2006). Quantitative studies of autonomic function. *Muscle & Nerve*, 33(1):6–20.
- Hughes, B. O. and Duncan, I. J. H. (1988). The notion of ethological „need“, models of motivation and animal welfare. *Animal Behaviour*, 36:1696–1707.
- Hursh, S. R., Raslear, T. G., Shurtleff, D., Bauman, R., and Simmons, L. (1988). A cost-benefit-analysis of demand for food. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 50(3):419–440.
- Inagaki, H., Kuwahara, M., and Tsubone, H. (2005). Changes in autonomic control of heart associated with classical appetitive conditioning in rats. *Experimental Animals*, 54:61–69.
- Inglis, I. R., Langton, S., Forkman, B., and Lazarus, J. (2001). An information primacy model of exploratory and foraging behaviour. *Animal Behaviour*, 62:543–557.
- Janczak, A. M., Pedersen, L. J., and Bakken, M. (2003). Aggression, fearfulness and coping styles in female pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 81:13–28.
- Jensen, P. and Toates, F. M. (1993). Who needs behavioral needs – Motivational aspects of the needs of animals. *Applied Animal Behaviour Science*, 37:161–181.
- Jensen, P. and Toates, F. M. (1997). Stress as a state of motivational systems. *Applied Animal Behaviour Science*, 53:145–156.
- Jones, R. and Nicol, C. J. (1998). A note on the effect of control of the thermal environment on the well-being of growing pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 60(1):1–9.
- Julien, C. (2006). The enigma of Mayer waves: Facts and models. *Cardiovascular Research*, 70(1):12–21.
- Kanitz, E., Otten, W., and Tuchscherer, M. (2005). Central and peripheral effects of repeated noise stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis in pigs. *Livestock Production Science*, 94(3):213–224.
- Kanitz, E., Tuchscherer, M., Puppe, B., Tuchscherer, A., and Stabenow, B. (2004). Consequences of repeated early isolation in domestic piglets (*Sus scrofa*) on their behavioural, neuroendocrine, and immunological responses. *Brain Behavior and Immunity*, 18:35–45.
- Kautzner, J. and Hnatkova, K. (1995). *Heart Rate Variability*, chapter Correspondence of different methods for heart rate variability measurement, pages 119–126. Futura Publishing Company, Inc.
- Kleiger, R. E., Stein, P. K., Bosner, M. S., and Rottman, J. N. (1992). Time domain measurements of heart rate variability. *Cardiology Clinics*, 10:487–498.

- Koolhaas, J. M., Korte, S. M., Boer, S. F. D., van der Vegt, B. J., van Reenen, C. G., Hopster, H., de Jong, I. C., Ruis, M. A. W., and Blokhuis, H. J. (1999). Coping styles in animals: Current status in behavior and stress-physiology. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 23:925–935.
- Korte, S. M., Olivier, B., and Koolhaas, J. M. (2007). A new animal welfare concept based on allostasis. *Physiology & Behavior*, 92:422–428.
- Kouwenberg, A.-L., Walsh, C. J., Morgan, B. E., and Martin, G. M. (2009). Episodic-like memory in crossbred Yucatan minipigs (*Sus scrofa*). *Applied Animal Behaviour Science*, 117:165–172.
- Kuwahara, M., Huh, M. D., Hirose, H., and 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.
- Kuwahara, M., Suzuki, A., Tsutsumi, H., Tanigawa, M., Tsubone, H., and 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., and 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.
- Lang, P. J. and Davis, M. (2006). Emotion, motivation, and the brain: Reflex foundations in animal and human research. In D. A. S. E. G. J. M. K. J. W., editor, *Understanding emotions*, volume 156 of *Progress in brain research*, chapter 1, pages 3–29. Elsevier Science Bv.
- Langbein, J., Nürnberg, G., and Manteuffel, G. (2004). Visual discrimination learning in dwarf goats and associated changes in heart rate and heart rate variability. *Physiology & Behaviour*, 82(4):601–609.
- Laughlin, K. and Mendl, M. (2000). Pigs shift too: Foraging strategies and spatial memory in the domestic pig. *Animal Behaviour*, 60:403–410.
- LeDoux, J. E. (1995). Emotion – Clues from the brain. *Annual Review of Psychology*, 46:209–235.
- LeDoux, J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 23:155–184.
- Lindermayer, H., Propstmeier, G., and Straub, K. (1994). *Fütterungsberater Schwein – Ferkel, Zuchtschweine, Mastschweine*. Ulmer.
- Manteca, X. (1998). Neurophysiology and assessment of welfare. *Meat Science*, 49:S205–S218.
- Manteuffel, G. (2006). Positive Emotionen bei Tieren: Probleme und Möglichkeiten einer wissenschaftlich fundierten Verbesserung des Wohlbefindens. *KTBL-Schrift*, 447:1–14.
- Manteuffel, G., Langbein, J., and Puppe, B. (2009a). From operant learning to cognitive enrichment in farm animal housing: Bases and applicability. *Animal Welfare*, 18:87–95.
- Manteuffel, G., Langbein, J., and Puppe, B. (2009b). Increasing farm animal welfare by positively motivated instrumental behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*, 118:191–198.
- Manteuffel, G., Puppe, B., and Schön, P. C. (2004). Vocalization of farm animals as a measure of welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 88:163–182.
- Marchant, J. N., Rudd, A. R., and Broom, D. M. (1997). The effects of housing on heart rate of gestating sows during specific behaviours. *Applied Animal Behaviour Science*, 55(1–2):67–78.
- Marchant-Forde, R. M., Marlin, D. J., and Marchant-Forde, J. N. (2004). Validation of a cardiac monitor for measuring heart rate variability in adult female pigs: Accuracy, artefacts and editing. *Physiology & Behaviour*, 80(4):449–458.

- Mason, G., Clubb, R., Latham, N., and 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. (1991a). Stereotypies – A critical review. *Animal Behaviour*, 41:1015–1037.
- Mason, G. J. (1991b). Stereotypies and suffering. *Behavioural Processes*, 25(2–3):103–115.
- McGaugh, J. L. (2000). Memory – a century of consolidation. *Science*, 287(5451):248–251.
- McGaugh, J. L. (2004). The amygdala modulates the consolidation of memories of emotionally arousing experiences. *Annual Review of Neuroscience*, 27:1–28.
- McGaugh, J. L. (2005). Emotional arousal and enhanced amygdala activity: New evidence for the old perseveration-consolidation hypothesis. *Learning & Memory*, 12(2):77–79.
- Meehan, C. L. and Mench, J. A. (2007). The challenge of challenge: Can problem solving opportunities enhance animal welfare? *Applied Animal Behaviour Science*, 102:246–261.
- Mench, J. A. (1998). *Second nature: Environmental enrichment for captive animals*, chapter Environmental enrichment and the importance of exploratory behavior, pages 30–46. Smithsonian Institution Press; Washington & London.
- Mendl, M. (1999). Performing under pressure: Stress and cognitive function. *Applied Animal Behaviour Science*, 65(3):221–244.
- Mendl, M., Laughlin, K., and Hitchcock, D. (1997). Pigs in space: Spatial memory and its susceptibility to interference. *Animal Behaviour*, 54:1491–1508.
- Mendl, M. and Paul, E. (2004). Consciousness, emotion and animal welfare: Insights from cognitive science. *Animal Welfare*, 13:S17–S25.
- Merla, A. and Romani, G. L. (2007). Thermal signatures of emotional arousal: A functional infrared imaging study. In *Annual International Conference Of The Ieee Engineering In Medicine And Biology Society*, Proceedings Of Annual International Conference Of The Ieee Engineering In Medicine And Biology Society, pages 247–249.
- Miyashita, T. and Williams, C. L. (2006). Epinephrine administration increases neural impulses propagated along the vagus nerve: Role of peripheral beta-adrenergic receptors. *Neurobiology of Learning and Memory*, 85:116–124.
- Moberg, G. P. and Mench, J. A. (2000). *The biology of animal stress – Basic principles and implications for animal welfare*. CABI Publishing.
- Moe, R., Bakken, M., Kittilsen, S., Kingsley-Smith, H., and Spruijt, B. (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., and Nürnberg, G. (2002). Heart rate variability – A noninvasive approach to measure stress in calves and cows. *Physiology & Behavior*, 75:251–259.
- Morgan, K. N. and Tromborg, C. T. (2007). Sources of stress in captivity. *Applied Animal Behaviour Science*, 102:262–302.
- Morrison, R. S., Johnston, L. J., and Hilbrands, A. M. (2007). The behaviour, welfare, growth performance and meat quality of pigs housed in a deep-litter, large group housing system compared to a conventional confinement system. *Applied Animal Behaviour Science*, 103:12–24.
- Müller, R. and Schrader, L. (2005). Behavioural consistency during social separation and personality in dairy cows. *Behaviour*, 142(Part 9-10):1289–1306.

- Newberry, R. C. (1995). Environmental enrichment – Increasing the biological relevance of captive environments. *Applied Animal Behaviour Science*, 44:229–243.
- Odemuyiwa, O. (1995). *Heart Rate Variability*, chapter Effect of age on heart rate variability, pages 235–240. Futura Publishing Company, Inc.
- Otten, W., Kanitz, E., Puppe, B., Tuchscherer, M., Brüßow, K. P., Nürnberg, G., and Stabenow, B. (2004). Acute and long term effects of chronic intermittent noise stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical and sympathoadrenomedullary axis in pigs. *Animal Science*, 78:271–283.
- Otten, W., Kanitz, E., Tuchscherer, M., and Nürnberg, G. (2001). Effects of prenatal restraint stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical and sympatho-adrenomedullary axis in neonatal pigs. *Animal Science*, 73:279–287.
- Ousdal, O., Jensen, J., Server, A., Hariri, A., Nakstad, P., and Andreassen, O. (2008). The human amygdala is involved in general behavioral relevance detection: Evidence from an event-related functional magnetic resonance imaging go-nogo task. *Neuroscience*, 156(3):450–455.
- 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, pages 245–266. Futura Publishing Company, Inc.
- Panksepp, J. and Burgdorf, J. (2003). “Laughing” rats and the evolutionary antecedents of human joy? *Physiology & Behavior*, 79:533–547.
- Piccini, L., Castiglioni, P., Usce, L., Zanetti, L., Andreoni, G., and Rienzo, M. D. (2003). Use of skin resistance to detect steady-state rest condition in a subject during cardiovascular measurements. *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE Cat. No.03CH37439)*, pages 264–267.
- 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(4):301–318.
- Porges, S. W. (2003). The polyvagal theory: Phylogenetic contributions to social behavior. *Physiology & Behavior*, 79(3):503–513.
- Posner, J., Russell, J. A., and Peterson, B. S. (2005). The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Development and Psychopathology*, 17(3):715–734.
- Puppe, B. (2003). Stressbewältigung und Wohlbefinden – Verhaltensphysiologische Ansatzpunkte einer Gesundheitssicherung bei Tieren. *Archiv für Tierzucht*, 46:52–56.
- Puppe, B., Ernst, K., Schön, P. C., and Manteuffel, G. (2005a). Aufmerksamkeit, Aktivität und positive kognitive Bewertung beim Futtererwerb von Schweinen – Experimenteller Ansatz und Effekte auf Verhalten und Gesundheit. *KTBL-Schrift*, 441:21–30.
- Puppe, B., Ernst, K., Schön, P. C., and Manteuffel, G. (2007). Cognitive enrichment affects behavioural reactivity in domestic pig. *Applied Animal Behaviour Science*, 105:75–86.
- Puppe, B., Schön, P. C., Tuchscherer, A., and Manteuffel, G. (2005b). Castration-induced vocalisation in domestic piglets, *Sus scrofa*: Complex and specific alterations of the vocal quality. *Applied Animal Behaviour Science*, 95(1–2):67–78.

- Ramaekers, P. J. L., Swinkels, J. W. G. M., Huiskes, J. H., Verstegen, M. W. A., DenHartog, L. A., and van der Peet-Schwering, C. M. C. (1996). Performance and carcass traits of individual pigs housed in groups as affected by ad libitum and restricted feeding. *Livestock Production Science*, 47(1):43–50.
- Randall, D. C., Skinner, T. L., and Billman, G. E. (1985). A comparison of the autonomic nervous control of the heart during classical aversive vs appetitive conditioning in dog. *Journal of the Autonomic Nervous System*, 13:125–136.
- Robert, S., Bergeron, R., Farmer, C., and Meunier-Salaün, M. (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. W., Brake, J. H. A. T., van de Burgwal, J. A., de Jong, I. C., Blokhuis, H. J., and Koolhaas, J. M. (2000). Personalities in female domesticated pigs: Behavioural and physiological indications. *Applied Animal Behaviour Science*, 66:31–47.
- Ruis, M. A. W., de Groot, J., Brake, J. H. A. T., Ekkel, E. D., van de Burgwal, J. A., Erkens, J. H. F., Engel, B., Buist, W. G., Blokhuis, H. J., and Koolhaas, J. M. (2001a). Behavioural and physiological consequences of acute social defeat in growing gilts: Effects of the social environment. *Applied Animal Behaviour Science*, 70:201–225.
- Ruis, M. A. W., te Brake, J. H. A., Engel, B., Buist, W. G., Blokhuis, H. J., and Koolhaas, J. M. (2001b). Adaptation to social isolation – Acute and long-term stress responses of growing gilts with different coping characteristics. *Physiology & Behavior*, 73:541–551.
- Sambrook, T. D. and Buchanan-Smith, H. M. (1997). Control and complexity in novel object enrichment. *Animal Welfare*, 6:207–216.
- Sato, S., Sako, S., and Maeda, A. (1991). Social licking patterns in cattle (*Bos taurus*) – Influence of environmental and social-factors. *Applied Animal Behaviour Science*, 32(1):3–12.
- Scherer, K. R. (2003). Book Reviews – Appraisal processes in emotions: Theory, methods, research. *The American Journal of Psychology*, 116:318–324.
- Scherer, K. R., Dan, E. S., and Flykt, A. (2006). What determines a feeling’s position in affective space? A case for appraisal. *Cognition & Emotion*, 20:92–113.
- Schön, P. C., Puppe, B., and Manteuffel, G. (2004). Automated recording of stress vocalisations as a tool to document impaired welfare in pigs. *Animal Welfare*, 13:105–110.
- Selye, H. (1973). The evolution of the stress concept. *American Scientist*, 61:692–699.
- Shusterman, V. and Barnea, O. (2005). Sympathetic nervous system activity in stress and bio-feedback relaxation. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 24(2):52–57.
- Shyne, A. (2006). Meta-analytic review of the effects of enrichment on stereotypic behavior in zoo mammals. *Zoo Biology*, 25(4):317–337.
- Siegfors, J., Rucker, G., and Zanella, A. (2008). Effects of pre-weaning exposure to a maze on stress responses in pigs at weaning and on subsequent performance in spatial and fear-related tests. *Applied Animal Behaviour Science*, 110:189–202.
- Sinski, M., Lewandowski, J., Abramczyk, P., Narkiewicz, K., and Gacjong, Z. (2006). Why study sympathetic nervous system? *Journal of Physiology and Pharmacology*, 57 Suppl 11:79–92.
- Spruijt, B. M., van den Bos, R., and 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.

- Stabenow, B. and Manteuffel, G. (2002). A better welfare for nursing sows without increased piglet loss applying peri-parturition short term crating. *Archiv für Tierzucht*, 45:53–60.
- Studnitz, M., Jensen, M. B., and 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. and Bashaw, M. J. (2007). Maximizing the effectiveness of environmental enrichment: Suggestions from the experimental analysis of behavior. *Applied Animal Behaviour Science*, 102:189–204.
- Teff, K. L. (2008). Visceral nerves: Vagal and sympathetic innervation. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 32(5):569–571.
- Thayer, J. F. and Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *Journal of Affective Disorders*, 61:201–216.
- Thayer, J. F. and Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(2):81–88.
- Thayer, J. F. and Siegle, G. I. (2002). Neurovisceral integration in cardiac and emotional regulation. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 21(4):24–29.
- Thayer, J. F. and Sternberg, E. (2006). Beyond heart rate variability – Vagal regulation of allostatic systems. *Neuroendocrine and Immune Crosstalk*, 1088:361–372.
- Toates, F. (2004). Cognition, motivation, emotion and action: A dynamic and vulnerable interdependence. *Applied Animal Behaviour Science*, 86:173–204.
- Trickett, S. L., Guy, J. H., and Edwards, S. A. (2009). The role of novelty in environmental enrichment for the weaned pig. *Applied Animal Behaviour Science*, 116:45–51.
- Trulla, L. L., Giuliani, A., Zbilut, J. P., and Webber, C. L. (1996). Recurrence quantification analysis of the logistic equation with transients. *Physics Letters A*, 223(4):255–260.
- Tuchscherer, M., Kanitz, E., Puppe, B., Tuchscherer, A., and Stabenow, B. (2004). Effects of postnatal social isolation on hormonal and immune responses of pigs to an acute endotoxin challenge. *Physiology & Behavior*, 82(2-3):503–511.
- Uchiyama, H., Ohtani, N., and Ohta, M. (2007). The evaluation of autonomic nervous system activation during learning in rhesus macaques with the analysis of the heart rate variability. *Journal of Veterinary Medical Science*, 69:521–526.
- van de Weerd, H. A. and Day, J. E. L. (2009). A review of environmental enrichment for pigs housed in intensive housing systems. *Applied Animal Behaviour Science*, 116:1–20.
- van der Harst, J. E., Baars, A. M., and Spruijt, B. M. (2003). Standard housed rats are more sensitive to rewards than enriched housed rats as reflected by their anticipatory behaviour. *Behavioural Brain Research*, 142(1–2):151–156.
- van der Harst, J. E. and Spruijt, B. M. (2007). Tools to measure and improve animal welfare: Reward-related behaviour. *Animal Welfare*, 16(Supplement 1):67–73.
- Veissier, I. and 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., Butterworth, A., Bock, B., and Roe, E. (2008). European approaches to ensure good animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 113(4):279–297. Farm Animal Welfare since the Brambell Report.
- Vinke, C. M., van Den, R. B., and 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(1–2):145–161.
- Visser, E. K., van Reenen, C. G., van der Werf, J. T. N., Schilder, M. B. H., Knaap, J. H., Barneveld, A., and Blokhuis, H. J. (2002). Heart rate and heart rate variability during a novel object test and a handling test in young horses. *Physiology & Behavior*, 76(2):289–296.
- von Borell, E. (2000). Mechanismen der Bewältigung von Stress. *Archiv für Tierzucht*, 43:441–450.
- von Borell, E. and Ladewig, J. (1992). Relationship between behaviour and adrenocortical response pattern in domestic pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 34:195–206.
- von Borell, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant-Forde, J., Marchant-Forde, R., Minero, M., Mohr, E., Prunier, A., Valance, D., and 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 Engelhardt, W. (1965). Swine cardiovascular physiology: A review. In *Proceedings of a symposium on swine in biomedical research*.
- Waitt, C. and Buchanan-Smith, H. (2001). What time is feeding? How delays and anticipation of feeding schedules affect stump-tailed macaque behavior. *Applied Animal Behaviour Science*, 75:75–85.
- Wallin, B. G. and Charikoudian, N. (2007). Sympathetic neural control of integrated cardiovascular function: Insights from measurement of human sympathetic nerve activity. *Muscle & Nerve*, 36(5):595–614.
- Webber, C. L. and Zbilut, J. P. (1994). Dynamical assessment of physiological systems and states using recurrence plot strategies. *Journal of Applied Physiology*, 76:965–973.
- Weber, R., Friedli, K., Troxler, J., and Winterling, C. (1993). Einfluss der Abruffütterung auf Aggressionen zwischen Sauen. *KTBL-Schrift*, 356:155–166.
- Webster, S. and Jones, A. (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(2):123–134.
- Wechsler, B. and Lea, S. E. G. (2007). Adaptation by learning: Its significance for farm animal husbandry. *Applied Animal Behaviour Science*, 108:197–214.
- Wells, D. L. (2009). Sensory stimulation as environmental enrichment for captive animals: A review. *Applied Animal Behaviour Science*, 118(1-2):1–11.
- Wemelsfelder, F. (1997). Life in captivity: Its lack of opportunities for variable behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*, 54:67–70.
- Wemelsfelder, F. (2005). *Mental health and well-being in animals*, chapter Animal boredom – Understanding the tedium of confined lives, pages 79–91. Blackwell Publishing.
- Wemelsfelder, F., Haskell, M., Mendl, M. T., Calvert, S., and Lawrence, A. B. (2000). Diversity of behaviour during novel object tests is reduced in pigs housed in substrate-impooverished conditions. *Animal Behaviour*, 60:385–394.

LITERATURVERZEICHNIS

Wiepkema, P. R. and Koolhaas, J. M. (1992). The emotional brain. *Animal Welfare*, 1:13–18.

Yeates, J. W. and Main, D. C. J. (2008). Assessment of positive welfare: A review. *The Veterinary Journal*, 175:293–300.

Yeragani, V. K., Sobolewski, E., Kay, J., Jampala, V. C., and G.Igel (1997). Effect of age on long-term heart rate variability. *Cardiovascular Research*, 35(1):35–42.

Zbilut, J. P., Thomasson, N., and Webber, C. L. (2002). Recurrence quantification analysis as a tool for nonlinear exploration of nonstationary cardiac signals. *Medical Engineering & Physics*, 24:53–60.

ANHANG

A. VERHALTENSTEST — VERHALTEN

Tab. A.1: Kombiniertes open field / novel object Test; Absolutwerte (LSM ± SE) der beobachteten Verhaltensweisen; ^{a,b,c,d} ein signifikanter Unterschied ($P < 0.05$) im post hoc Test liegt vor, wenn alle Buchstaben in den beiden Buchstabenkombinationen verschieden sind.

| Größe | Parameter | open field Test 1 | | open field Test 2 | | open field Test 3 | |
|-------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | | Versuch | Kontrolle | Versuch | Kontrolle | Versuch | Kontrolle |
| Häufigkeit | Lokomotion | 49.8 ± 2.7 ^{a,b,c} | 63.9 ± 2.7 ^d | 42.9 ± 2.8 ^a | 58.3 ± 2.7 ^{c,d} | 46.2 ± 2.8 ^{a,b} | 54.9 ± 2.7 ^{b,d} |
| | Stehen | 53.1 ± 2.9 ^{a,b} | 53.0 ± 2.9 ^a | 58.5 ± 2.9 ^{a,c} | 63.6 ± 2.9 ^{b,c} | 61.1 ± 2.9 ^{a,c} | 69.8 ± 2.9 ^c |
| | Exkretion | 6.1 ± 0.6 | 6.4 ± 0.6 | 7.0 ± 0.6 | 7.7 ± 0.6 | 6.9 ± 0.6 | 7.6 ± 0.6 |
| | Wandkontakt | 8.3 ± 1.2 ^{a,b} | 6.5 ± 1.2 ^a | 8.4 ± 1.3 ^{a,b} | 6.6 ± 1.2 ^a | 12.5 ± 1.3 ^b | 8.1 ± 1.2 ^{a,b} |
| | Fluchtversuch | 0.1 ± 0.2 | 0.1 ± 0.2 | 0.5 ± 0.2 | 0.4 ± 0.2 | 0.1 ± 0.2 | 0.3 ± 0.2 |
| | Liegen | 2.5 ± 0.7 | 1.0 ± 0.7 | 0.0 ± 0.7 | 0.2 ± 0.7 | 0.0 ± 0.7 | 1.0 ± 0.7 |
| | Grunzen | 60.9 ± 4.0 ^{a,b} | 57.2 ± 4.0 ^a | 68.5 ± 4.1 ^{a,b,c} | 78.0 ± 4.0 ^c | 70.5 ± 4.1 ^{a,b,c} | 73.1 ± 4.0 ^{b,c} |
| | keine Vokalisation | 80.1 ± 3.9 ^{b,c} | 97.2 ± 3.9 ^d | 64.9 ± 4.0 ^a | 76.4 ± 3.9 ^{a,b,c} | 67.8 ± 4.0 ^{a,b} | 82.6 ± 3.9 ^{b,c} |
| | Schreien | 0.0 ± 0.7 | 0.1 ± 0.7 | 0.2 ± 0.8 | 1.5 ± 0.7 | 1.4 ± 0.8 | 1.1 ± 0.7 |
| | Objektannäherung | 8.6 ± 0.6 ^{c,d} | 8.9 ± 0.6 ^d | 6.5 ± 0.6 ^{b,c} | 4.9 ± 0.6 ^{a,b} | 4.2 ± 0.6 ^{a,b} | 3.0 ± 0.6 ^a |
| | Objektfixierung | 1.5 ± 0.3 ^b | 1.7 ± 0.3 ^b | 0.2 ± 0.3 ^a | 0.3 ± 0.3 ^a | 0.1 ± 0.3 ^a | 0.2 ± 0.3 ^a |
| | Objektschreck | 0.8 ± 0.1 ^b | 0.8 ± 0.1 ^b | 0.0 ± 0.1 ^a | 0.0 ± 0.1 ^a | 0.0 ± 0.1 ^a | 0.0 ± 0.1 ^a |
| | Objektkontakt | 10.1 ± 1.0 ^{a,b} | 11.3 ± 1.0 ^{a,b} | 10.5 ± 1.1 ^{a,b} | 13.9 ± 1.0 ^b | 9.5 ± 1.1 ^a | 11.9 ± 1.0 ^{a,b} |
| Latenz in s | Lokomotion | 6.6 ± 1.6 | 11.1 ± 1.6 | 5.1 ± 1.6 | 9.7 ± 1.6 | 11.9 ± 1.6 | 7.8 ± 1.6 |
| | Stehen | 0.0 ± 0.1 | 0.0 ± 0.1 | 0.0 ± 0.1 | 0.3 ± 0.1 | 0.0 ± 0.1 | 0.0 ± 0.1 |
| | Exkretion | 89.8 ± 16.1 | 69.2 ± 16.1 | 55.0 ± 16.6 | 53.0 ± 16.1 | 39.2 ± 16.6 | 27.1 ± 16.1 |
| | Wandkontakt | 99.0 ± 33.2 | 176.1 ± 33.2 | 105.3 ± 34.0 | 181.5 ± 33.2 | 140.5 ± 34.0 | 151.6 ± 33.2 |
| | Fluchtversuch | 575.6 ± 18.4 | 579.8 ± 18.4 | 566.7 ± 18.9 | 557.6 ± 18.4 | 579.4 ± 18.9 | 567.0 ± 18.4 |
| | Liegen | 557.1 ± 18.1 | 556.2 ± 18.1 | 593.1 ± 18.5 | 572.0 ± 18.1 | 591.1 ± 18.5 | 591.6 ± 18.1 |
| | Grunzen | 38.5 ± 10.6 | 25.6 ± 10.6 | 21.7 ± 10.9 | 15.2 ± 10.6 | 16.7 ± 10.9 | 22.4 ± 10.6 |
| | keine Vokalisation | 0.0 ± 0.1 | 0.0 ± 0.1 | 0.0 ± 0.1 | 0.3 ± 0.1 | 0.0 ± 0.1 | 0.0 ± 0.1 |
| | Schreien | 578.3 ± 23.7 | 564.3 ± 23.7 | 593.1 ± 24.4 | 543.0 ± 23.7 | 557.4 ± 24.4 | 539.3 ± 23.7 |
| | Objektannäherung | 349.7 ± 13.0 | 314.8 ± 13.0 | 315.9 ± 13.4 | 317.5 ± 13.0 | 337.2 ± 13.4 | 364.1 ± 13.0 |
| | Objektfixierung | 474.6 ± 17.7 ^a | 465.3 ± 17.7 ^a | 578.2 ± 18.2 ^b | 560.5 ± 17.7 ^b | 594.6 ± 18.2 ^b | 573.2 ± 17.7 ^b |
| | Objektschreck | 465.8 ± 16.2 ^a | 474.1 ± 16.2 ^a | 588.5 ± 16.6 ^b | 600.0 ± 16.2 ^b | 600.6 ± 16.6 ^b | 600.0 ± 16.2 ^b |
| | Objektkontakt | 356.3 ± 8.9 ^b | 336.8 ± 8.9 ^{a,b} | 314.2 ± 9.1 ^a | 308.4 ± 8.9 ^a | 311.5 ± 9.1 ^a | 313.5 ± 8.9 ^a |

| Größe | Parameter | open field Test 1 | | open field Test 2 | | open field Test 3 | |
|--------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | Versuch | Kontrolle | Versuch | Kontrolle | Versuch | Kontrolle |
| Gesamtdauer in s | Lokomotion | 206.8 ± 10.7 ^{a,c} | 232.8 ± 10.7 ^c | 186.9 ± 10.9 ^a | 228.2 ± 10.7 ^c | 186.9 ± 10.9 ^a | 195.3 ± 10.7 ^{a,b} |
| | Stehen | 213.6 ± 12.7 ^{a,b} | 201.7 ± 12.7 ^a | 255.0 ± 13.1 ^{a,b} | 235.3 ± 12.7 ^{a,b} | 246.8 ± 13.1 ^{a,b} | 250.8 ± 12.7 ^b |
| | Exkretion | 35.8 ± 4.1 ^a | 50.6 ± 4.1 ^{a,b} | 38.0 ± 4.2 ^a | 50.3 ± 4.1 ^{a,b} | 44.8 ± 4.2 ^{a,b} | 57.8 ± 4.1 ^b |
| | Wandkontakt | 27.6 ± 5.2 ^{a,b} | 18.6 ± 5.2 ^a | 29.3 ± 5.3 ^{a,b} | 17.6 ± 5.2 ^a | 46.4 ± 5.3 ^b | 23.3 ± 5.2 ^a |
| | Fluchtversuch | 0.2 ± 0.6 | 0.3 ± 0.6 | 1.4 ± 0.6 | 1.7 ± 0.6 | 0.3 ± 0.6 | 0.8 ± 0.6 |
| | Liegen | 42.9 ± 10.4 | 8.5 ± 10.4 | -2.7 ± 10.7 | 0.7 ± 10.4 | -0.7 ± 10.7 | 4.9 ± 10.4 |
| | Grunzen | 231.1 ± 18.0 ^{a,b} | 194.0 ± 18.0 ^a | 285.8 ± 18.3 ^c | 281.0 ± 18.0 ^{b,c} | 283.3 ± 18.3 ^c | 252.6 ± 18.0 ^{b,c} |
| | keine Vokalisation | 368.8 ± 18.3 ^{b,c} | 405.7 ± 18.3 ^c | 313.1 ± 18.6 ^a | 313.6 ± 18.3 ^{a,b} | 312.2 ± 18.6 ^a | 343.7 ± 18.3 ^{a,b} |
| | Schreien | 0.0 ± 2.5 | 0.3 ± 2.5 | 1.0 ± 2.6 | 5.4 ± 2.5 | 4.2 ± 2.6 | 3.5 ± 2.5 |
| | Objektannäherung | 20.8 ± 1.5 ^c | 25.0 ± 1.5 ^c | 12.4 ± 1.5 ^b | 8.3 ± 1.5 ^{a,b} | 7.8 ± 1.5 ^{a,b} | 5.3 ± 1.5 ^a |
| | Objektfixierung | 6.6 ± 1.4 ^{b,c} | 8.1 ± 1.4 ^c | 1.0 ± 1.4 ^{a,b} | 1.1 ± 1.4 ^{a,b} | 0.7 ± 1.4 ^a | 0.4 ± 1.4 ^a |
| | Objektschreck | 2.0 ± 0.4 ^b | 2.0 ± 0.4 ^b | 0.2 ± 0.4 ^a | 0.0 ± 0.4 ^a | 0.0 ± 0.4 ^a | 0.0 ± 0.4 ^a |
| | Objektkontakt | 43.5 ± 5.7 ^a | 49.6 ± 5.7 ^{a,b} | 68.5 ± 5.8 ^b | 57.0 ± 5.7 ^{a,b} | 56.6 ± 5.8 ^{a,b} | 61.5 ± 5.7 ^{a,b} |
| | mittlere Dauer in s | Lokomotion | 4.6 ± 0.2 ^b | 3.9 ± 0.2 ^{a,b} | 4.4 ± 0.2 ^{a,b} | 4.1 ± 0.2 ^{a,b} | 4.2 ± 0.2 ^{a,b} |
| Stehen | | 4.1 ± 0.2 | 4.0 ± 0.2 | 4.4 ± 0.2 | 3.7 ± 0.2 | 4.2 ± 0.2 | 3.7 ± 0.2 |
| Exkretion | | 6.3 ± 0.6 ^{a,b} | 8.2 ± 0.6 ^b | 5.6 ± 0.6 ^a | 6.8 ± 0.6 ^{a,b} | 6.6 ± 0.6 ^{a,b} | 8.4 ± 0.6 ^b |
| Wandkontakt | | 3.2 ± 0.3 ^b | 2.6 ± 0.3 ^{a,b} | 3.0 ± 0.3 ^{a,b} | 2.0 ± 0.3 ^a | 3.1 ± 0.3 ^b | 2.5 ± 0.3 ^{a,b} |
| Fluchtversuch | | 0.2 ± 0.2 | 0.3 ± 0.2 | 0.7 ± 0.2 | 0.5 ± 0.2 | 0.3 ± 0.2 | 0.2 ± 0.2 |
| Liegen | | 2.4 ± 1.1 | 1.2 ± 1.1 | 0.0 ± 1.1 | 0.3 ± 1.1 | 2.0 ± 1.1 | 0.9 ± 1.1 |
| Grunzen | | 4.2 ± 0.3 | 3.2 ± 0.3 | 4.6 ± 0.3 | 3.6 ± 0.3 | 4.4 ± 0.3 | 3.3 ± 0.3 |
| keine Vokalisation | | 5.8 ± 0.7 | 4.2 ± 0.7 | 5.7 ± 0.7 | 4.2 ± 0.7 | 5.6 ± 0.7 | 4.2 ± 0.7 |
| Schreien | | 0.0 ± 0.2 | 0.3 ± 0.2 | 0.3 ± 0.2 | 0.7 ± 0.2 | 0.3 ± 0.2 | 0.6 ± 0.2 |
| Objektannäherung | | 2.1 ± 0.2 ^b | 2.9 ± 0.2 ^c | 1.9 ± 0.2 ^{a,b} | 1.6 ± 0.2 ^{a,b} | 1.6 ± 0.2 ^{a,b} | 1.3 ± 0.2 ^a |
| Objektfixierung | | 2.5 ± 0.5 ^{b,c} | 3.1 ± 0.5 ^c | 0.6 ± 0.5 ^{a,b} | 1.0 ± 0.5 ^{a,b} | 0.7 ± 0.5 ^{a,b} | 0.4 ± 0.5 ^a |
| Objektschreck | | 1.2 ± 0.2 ^b | 1.0 ± 0.2 ^b | 0.2 ± 0.2 ^a | 0.0 ± 0.2 ^a | 0.0 ± 0.2 ^a | 0.0 ± 0.2 ^a |
| Objektkontakt | | 4.1 ± 0.5 ^a | 4.3 ± 0.5 ^a | 6.8 ± 0.5 ^b | 4.2 ± 0.5 ^a | 6.6 ± 0.5 ^b | 5.3 ± 0.5 ^{a,b} |

Tab. A.2: Kombiniertes open field / novel object Test; Differenzwerte zum open field Test 1 (LSM \pm SE) der beobachteten Verhaltensweisen; ^{a,b,c,d} ein signifikanter Unterschied ($P < 0.05$) im post hoc Test liegt vor, wenn alle Buchstaben in den beiden Buchstabenkombinationen verschieden sind.

| Größe | Parameter | open field Test 2 - 1 | | open field Test 3 - 1 | |
|-------------|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| | | Versuch | Kontrolle | Versuch | Kontrolle |
| Häufigkeit | Lokomotion | -7.6 \pm 3.5 | -5.7 \pm 3.4 | -4.3 \pm 3.5 | -9.0 \pm 3.4 |
| | Stehen | 4.3 \pm 3.6 | 10.6 \pm 3.5 | 6.9 \pm 3.6 | 16.7 \pm 3.5 |
| | Exkretion | 0.8 \pm 0.6 | 1.3 \pm 0.6 | 0.7 \pm 0.6 | 1.3 \pm 0.6 |
| | Wandkontakt | -0.1 \pm 1.7 | 0.1 \pm 1.7 | 3.9 \pm 1.7 | 1.6 \pm 1.7 |
| | Fluchtversuch | 0.4 \pm 0.2 | 0.3 \pm 0.2 | 0.0 \pm 0.2 | 0.2 \pm 0.2 |
| | Liegen | -2.5 \pm 1.2 | -0.8 \pm 1.1 | -2.4 \pm 1.2 | 0.0 \pm 1.1 |
| | Grunzen | 7.2 \pm 3.6 ^a | 20.8 \pm 3.5 ^b | 9.2 \pm 3.6 ^{a,b} | 15.9 \pm 3.5 ^{a,b} |
| | keine Vokalisation | -16.6 \pm 4.7 | -20.8 \pm 4.6 | -13.8 \pm 4.7 | -14.6 \pm 4.6 |
| | Schreien | 0.2 \pm 1.0 | 1.4 \pm 0.9 | 1.5 \pm 1.0 | 1.0 \pm 0.9 |
| | Objektannäherung | -2.4 \pm 0.9 ^{a,d} | -4.0 \pm 0.9 ^{a,c} | -4.7 \pm 0.9 ^{b,c} | -5.8 \pm 0.9 ^{b,d} |
| | Objektfixierung | -1.4 \pm 0.4 | -1.4 \pm 0.4 | -1.5 \pm 0.4 | -1.5 \pm 0.4 |
| | Objektschreck | -0.8 \pm 0.2 | -0.8 \pm 0.2 | -0.8 \pm 0.2 | -0.8 \pm 0.2 |
| | Objektkontakt | 0.1 \pm 1.7 | 2.5 \pm 1.6 | -0.9 \pm 1.7 | 0.5 \pm 1.6 |
| Latenz in s | Lokomotion | -1.2 \pm 2.4 | -1.4 \pm 2.3 | 5.7 \pm 2.4 | -3.3 \pm 2.3 |
| | Stehen | 0.0 \pm 0.1 | 0.3 \pm 0.1 | 0.0 \pm 0.1 | 0.0 \pm 0.1 |
| | Exkretion | -34.9 \pm 21.4 | -16.2 \pm 20.8 | -50.7 \pm 21.4 | -42.1 \pm 20.8 |
| | Wandkontakt | 15.9 \pm 39.5 | 5.4 \pm 38.5 | 51.2 \pm 39.5 | -24.5 \pm 38.5 |
| | Fluchtversuch | -8.2 \pm 24.8 | -22.2 \pm 24.1 | 4.6 \pm 24.8 | -12.8 \pm 24.1 |
| | Liegen | 32.9 \pm 23.8 | 15.8 \pm 23.3 | 30.9 \pm 23.8 | 35.4 \pm 23.3 |
| | Grunzen | -21.7 \pm 15.4 | -10.4 \pm 15.0 | -26.7 \pm 15.4 | -3.2 \pm 15.0 |
| | keine Vokalisation | 0.0 \pm 0.1 | 0.3 \pm 0.1 | 0.0 \pm 0.1 | 0.0 \pm 0.1 |
| | Schreien | 21.1 \pm 34.8 | -21.4 \pm 33.8 | -14.7 \pm 34.8 | -25.1 \pm 33.8 |
| | Objektannäherung | -25.8 \pm 17.7 ^a | 2.7 \pm 17.2 ^{a,b} | -4.5 \pm 17.7 ^{a,b} | 49.3 \pm 17.2 ^b |
| | Objektfixierung | 105.3 \pm 26.0 | 95.2 \pm 25.3 | 121.8 \pm 26.0 | 108.0 \pm 25.3 |
| | Objektschreck | 124.8 \pm 27.5 | 125.9 \pm 26.8 | 136.9 \pm 27.5 | 125.9 \pm 26.8 |
| | Objektkontakt | -34.5 \pm 14.1 | -28.3 \pm 13.7 | -37.2 \pm 14.1 | -23.3 \pm 13.7 |

Fortsetzung

| Größe | Parameter | open field Test 2 - 1 | | open field Test 3 - 1 | |
|--------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | | Versuch | Kontrolle | Versuch | Kontrolle |
| Gesamtdauer in s | Lokomotion | -23.2 ± 11.3 ^{a,b} | -4.6 ± 11.0 ^a | -23.2 ± 11.3 ^{a,b} | -37.5 ± 11.0 ^b |
| | Stehen | 36.8 ± 15.0 | 33.7 ± 14.5 | 28.6 ± 15.0 | 49.1 ± 14.5 |
| | Exkretion | 1.9 ± 5.0 | -0.4 ± 4.9 | 8.8 ± 5.0 | 7.1 ± 4.9 |
| | Wandkontakt | 1.2 ± 6.8 | -1.0 ± 6.6 | 18.2 ± 6.8 | 4.6 ± 6.6 |
| | Fluchtversuch | 1.1 ± 0.8 | 1.4 ± 0.7 | 0.1 ± 0.8 | 0.5 ± 0.7 |
| | Liegen | -24.4 ± 11.8 | -7.8 ± 11.4 | -22.4 ± 11.8 | -3.6 ± 11.4 |
| | Grunzen | 55.9 ± 16.8 | 86.9 ± 16.3 | 53.4 ± 16.8 | 58.5 ± 16.3 |
| | keine Vokalisation | -56.9 ± 17.0 | -92.0 ± 16.5 | -57.9 ± 17.0 | -62.0 ± 16.5 |
| | Schreien | 1.0 ± 3.2 | 5.1 ± 3.1 | 4.2 ± 3.2 | 3.2 ± 3.1 |
| | Objektannäherung | -9.1 ± 2.5 ^a | -16.8 ± 2.4 ^{a,b} | -13.7 ± 2.5 ^b | -19.8 ± 2.4 ^b |
| | Objektfixierung | -5.8 ± 2.4 | -7.0 ± 2.3 | -6.1 ± 2.4 | -7.8 ± 2.3 |
| | Objektschreck | -1.9 ± 0.6 | -2.0 ± 0.6 | -2.1 ± 0.6 | -2.0 ± 0.6 |
| | Objektkontakt | 24.1 ± 6.6 | 7.4 ± 6.4 | 12.2 ± 6.6 | 11.9 ± 6.4 |
| | mittlere Dauer in s | Lokomotion | -0.1 ± 0.2 | 0.2 ± 0.2 | -0.3 ± 0.2 |
| Stehen | | 0.3 ± 0.2 | -0.2 ± 0.2 | 0.1 ± 0.2 | -0.2 ± 0.2 |
| Exkretion | | -0.4 ± 0.7 | -1.4 ± 0.7 | 0.6 ± 0.7 | 0.2 ± 0.7 |
| Wandkontakt | | -0.3 ± 0.4 | -0.6 ± 0.4 | -0.2 ± 0.4 | -0.1 ± 0.4 |
| Fluchtversuch | | 0.4 ± 0.3 | 0.2 ± 0.3 | 0.1 ± 0.3 | -0.1 ± 0.3 |
| Liegen | | -1.3 ± 1.3 | -0.9 ± 1.3 | 0.7 ± 1.3 | -0.3 ± 1.3 |
| Grunzen | | 0.5 ± 0.2 | 0.4 ± 0.2 | 0.3 ± 0.2 | 0.1 ± 0.2 |
| keine Vokalisation | | 0.3 ± 0.3 | 0.4 ± 0.3 | 0.2 ± 0.3 | 0.3 ± 0.3 |
| Schreien | | 0.3 ± 0.3 | 0.4 ± 0.3 | 0.2 ± 0.3 | 0.3 ± 0.3 |
| Objektannäherung | | -0.2 ± 0.3 ^a | -1.2 ± 0.2 ^{b,c} | -0.5 ± 0.3 ^{a,b} | -1.5 ± 0.2 ^c |
| Objektfixierung | | -2.0 ± 0.7 | -2.1 ± 0.7 | -1.9 ± 0.7 | -2.7 ± 0.7 |
| Objektschreck | | -1.1 ± 0.3 | -1.0 ± 0.3 | -1.3 ± 0.3 | -1.0 ± 0.3 |
| Objektkontakt | | 2.5 ± 0.6 ^b | 0.0 ± 0.6 ^a | 2.3 ± 0.6 ^b | 1.1 ± 0.6 ^{a,b} |

B. VERHALTENSTEST — HERZFREQUENZ UND
HERZSCHLAGVARIABILITÄT

Tab. B.1: Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im ersten kombinierten open field / novel object Test; Absolutwerte (LSM \pm SE).

| | | open field Test 1 | | | |
|----------------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|
| Analyse | Parameter | Versuch | | Kontrolle | |
| | | open field | novel object | open field | novel object |
| Zeit- bereich | HR | 163.6 \pm 3.3 | 161.7 \pm 3.3 | 162.4 \pm 2.9 | 164.2 \pm 2.9 |
| | SDNN | 27.5 \pm 2.5 | 30.8 \pm 2.5 | 26.2 \pm 2.1 | 32.1 \pm 2.1 |
| | RMSSD | 8.5 \pm 1.2 | 8.8 \pm 1.2 | 8.6 \pm 1.0 | 9.2 \pm 1.0 |
| | RMSSD/ SDNN | 0.32 \pm 0.02 | 0.33 \pm 0.02 | 0.33 \pm 0.02 | 0.29 \pm 0.02 |
| Frequenz- bereich | LF | 51.6 \pm 3.1 | 44.1 \pm 3.1 | 52.7 \pm 2.7 | 41.0 \pm 2.7 |
| | HF | 3.5 \pm 0.4 | 4.4 \pm 0.4 | 2.9 \pm 0.3 | 2.4 \pm 0.3 |
| | LF/HF | 18.5 \pm 2.3 | 19.6 \pm 2.3 | 19.8 \pm 1.9 | 20.5 \pm 1.9 |
| RQA | %rec | 7.8 \pm 0.8 | 6.4 \pm 0.8 | 5.1 \pm 0.7 | 7.2 \pm 0.7 |
| | %det | 89.3 \pm 1.9 | 88.7 \pm 1.9 | 87.6 \pm 1.6 | 91.0 \pm 1.6 |
| | det/rec | 27.4 \pm 5.9 | 51.4 \pm 5.9 | 20.6 \pm 5.1 | 17.8 \pm 5.1 |
| | MaxL | 110.9 \pm 14.8 | 107.1 \pm 14.8 | 87.9 \pm 12.8 | 125.3 \pm 12.8 |
| | Entropie | 3.90 \pm 0.12 | 3.79 \pm 0.12 | 3.69 \pm 0.10 | 3.92 \pm 0.10 |
| | trend | -9.1 \pm 2.2 | -13.5 \pm 2.2 | -7.8 \pm 1.9 | -12.2 \pm 1.9 |

Tab. B.2: Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im zweiten kombinierten open field / novel object Test; Absolutwerte (LSM \pm SE).

| | | open field Test 2 | | | |
|----------------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Analyse | Parameter | Versuch | | Kontrolle | |
| | | open field | novel object | open field | novel object |
| Zeit- bereich | HR | 127.7 \pm 2.9 | 129.6 \pm 2.9 | 128.5 \pm 2.8 | 128.0 \pm 2.8 |
| | SDNN | 40.1 \pm 2.1 | 41.7 \pm 2.1 | 44.1 \pm 2.1 | 43.2 \pm 2.1 |
| | RMSSD | 14.8 \pm 1.0 | 14.2 \pm 1.0 | 15.9 \pm 1.0 | 16.4 \pm 1.0 |
| | RMSSD/ SDNN | 0.36 \pm 0.02 | 0.33 \pm 0.02 | 0.36 \pm 0.02 | 0.38 \pm 0.02 |
| Frequenz- bereich | LF | 57.6 \pm 2.6 | 51.0 \pm 2.6 | 52.0 \pm 2.6 | 52.5 \pm 2.6 |
| | HF | 3.6 \pm 0.3 | 2.8 \pm 0.3 | 3.5 \pm 0.3 | 3.4 \pm 0.3 |
| | LF/HF | 20.0 \pm 1.9 | 21.4 \pm 1.9 | 18.5 \pm 1.9 | 18.4 \pm 1.9 |
| RQA | %rec | 3.7 \pm 0.7 | 5.0 \pm 0.7 | 3.8 \pm 0.7 | 3.8 \pm 0.7 |
| | %det | 85.9 \pm 1.6 | 86.7 \pm 1.6 | 85.0 \pm 1.6 | 83.5 \pm 1.6 |
| | det/rec | 30.0 \pm 5.0 | 28.1 \pm 5.0 | 30.9 \pm 4.9 | 34.8 \pm 4.9 |
| | MaxL | 67.7 \pm 12.6 | 81.5 \pm 12.6 | 77.1 \pm 12.3 | 59.5 \pm 12.3 |
| | Entropie | 3.40 \pm 0.10 | 3.50 \pm 0.10 | 3.44 \pm 0.10 | 3.33 \pm 0.10 |
| | trend | -6.9 \pm 1.9 | -8.6 \pm 1.9 | -8.7 \pm 1.8 | -1.9 \pm 1.8 |

Tab. B.3: Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im dritten kombinierten open field / novel object Test; Absolutwerte (LSM \pm SE).

| | | open field Test 3 | | | |
|----------------------|----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Analyse | Parameter | Versuch | | Kontrolle | |
| | | open field | novel object | open field | novel object |
| Zeit- bereich | HR | 126.8 \pm 3.1 | 125.5 \pm 3.1 | 124.6 \pm 2.8 | 123.0 \pm 2.8 |
| | SDNN | 37.2 \pm 2.3 | 38.0 \pm 2.3 | 35.7 \pm 2.0 | 36.4 \pm 2.0 |
| | RMSSD | 13.3 \pm 1.1 | 13.5 \pm 1.1 | 12.9 \pm 1.0 | 12.5 \pm 1.0 |
| | RMSSD/ SDNN | 0.35 \pm 0.02 | 0.34 \pm 0.02 | 0.37 \pm 0.02 | 0.35 \pm 0.02 |
| Frequenz- bereich | LF | 51.2 \pm 2.9 | 48.7 \pm 2.9 | 49.6 \pm 2.5 | 47.6 \pm 2.5 |
| | HF | 3.2 \pm 0.4 | 3.2 \pm 0.4 | 3.3 \pm 0.3 | 2.7 \pm 0.3 |
| | LF/HF | 18.1 \pm 2.1 | 19.3 \pm 2.1 | 16.9 \pm 1.8 | 20.2 \pm 1.8 |
| RQA | %rec | 3.2 \pm 0.7 | 3.5 \pm 0.7 | 3.0 \pm 0.6 | 3.6 \pm 0.6 |
| | %det | 83.3 \pm 1.8 | 84.3 \pm 1.8 | 81.9 \pm 1.5 | 82.3 \pm 1.5 |
| | det/rec | 40.7 \pm 5.6 | 38.5 \pm 5.6 | 40.1 \pm 4.7 | 37.7 \pm 4.7 |
| | MaxL | 61.0 \pm 14.0 | 72.3 \pm 14.0 | 53.1 \pm 11.7 | 62.0 \pm 11.7 |
| | Entropie | 3.26 \pm 0.11 | 3.32 \pm 0.11 | 3.25 \pm 0.09 | 3.29 \pm 0.09 |
| | trend | -4.9 \pm 2.1 | -5.8 \pm 2.1 | -6.5 \pm 1.7 | -7.1 \pm 1.7 |

Tab. B.4: Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im wiederholten kombinierten open field / novel object Test; Differenzwerte der Testwiederholungen zum ersten Verhaltenstest (LSM \pm SE).

| Analyse | Para- meter | open field Test 2 | | | | open field Test 3 | | | |
|----------------------|----------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | Versuch | | Kontrolle | | Versuch | | Kontrolle | |
| | | open field | novel object | open field | novel object | open field | novel object | open field | novel object |
| Zeit- bereich | HR | -37.0 \pm 4.2 | -32.3 \pm 4.2 | -34.5 \pm 3.6 | -35.7 \pm 3.6 | -39.6 \pm 4.3 | -38.1 \pm 4.3 | -37.6 \pm 3.6 | -40.9 \pm 3.6 |
| | SDNN | 11.5 \pm 3.3 | 6.6 \pm 3.3 | 17.3 \pm 2.8 | 10.4 \pm 2.8 | 7.3 \pm 3.3 | 3.0 \pm 3.3 | 9.7 \pm 2.8 | 4.0 \pm 2.8 |
| | RMSSD | 6.2 \pm 1.4 | 5.1 \pm 1.4 | 7.0 \pm 1.2 | 6.9 \pm 1.2 | 3.7 \pm 1.4 | 3.5 \pm 1.4 | 4.8 \pm 1.2 | 3.5 \pm 1.2 |
| | RMSSD/ SDNN | 0.04 \pm 0.02 | 0.05 \pm 0.02 | 0.02 \pm 0.02 | 0.09 \pm 0.02 | 0.01 \pm 0.02 | 0.04 \pm 0.02 | 0.04 \pm 0.02 | 0.07 \pm 0.02 |
| Frequenz- bereich | LF | 1.1 \pm 3.7 | 8.4 \pm 3.7 | -0.2 \pm 3.2 | 11.0 \pm 3.2 | -7.7 \pm 3.8 | 3.2 \pm 3.8 | -2.7 \pm 3.1 | 6.4 \pm 3.1 |
| | HF | 0.2 \pm 0.4 | 0.5 \pm 0.4 | 0.4 \pm 0.4 | 1.0 \pm 0.4 | -0.1 \pm 0.4 | 0.3 \pm 0.4 | 0.4 \pm 0.4 | 0.5 \pm 0.4 |
| | LF/HF | 1.1 \pm 2.9 | -0.9 \pm 2.9 | -0.3 \pm 2.5 | -1.7 \pm 2.5 | -1.6 \pm 3.0 | -0.7 \pm 3.0 | -3.0 \pm 2.4 | -1.1 \pm 2.4 |
| RQA | %rec | -3.8 \pm 1.0 | -2.6 \pm 1.0 | -1.3 \pm 0.9 | -3.5 \pm 0.9 | -3.9 \pm 1.0 | -3.2 \pm 1.0 | -2.2 \pm 0.9 | -3.6 \pm 0.9 |
| | %det | -4.4 \pm 2.5 | -5.5 \pm 2.5 | -2.6 \pm 2.2 | -7.2 \pm 2.2 | -4.8 \pm 2.6 | -6.0 \pm 2.6 | -6.1 \pm 2.1 | -9.0 \pm 2.1 |
| | det/rec | 9.2 \pm 7.5 | 10.2 \pm 7.5 | 7.2 \pm 6.3 | 19.7 \pm 6.3 | 11.1 \pm 7.7 | 15.6 \pm 7.7 | 18.3 \pm 6.3 | 23.4 \pm 6.3 |
| | MaxL | -42.6 \pm 24.3 | -45.0 \pm 24.3 | -12.1 \pm 20.7 | -61.0 \pm 20.7 | -40.0 \pm 25.0 | -45.3 \pm 25.0 | -37.0 \pm 20.4 | -59.7 \pm 20.4 |
| | Entropie | -0.5 \pm 0.2 | -0.4 \pm 0.2 | -0.2 \pm 0.1 | -0.6 \pm 0.1 | -0.5 \pm 0.2 | -0.5 \pm 0.2 | -0.5 \pm 0.1 | -0.6 \pm 0.1 |
| | trend | 0.2 \pm 3.0 | 7.3 \pm 3.0 | -0.6 \pm 2.6 | 9.8 \pm 2.6 | 2.8 \pm 3.1 | 7.2 \pm 3.1 | 2.2 \pm 2.6 | 3.8 \pm 2.6 |

TABELLENVERZEICHNIS

| | | |
|------|---|-----|
| 2.1 | Übersicht über die verwendeten Parameter der Herzschlagaktivität und -variabilität | 18 |
| 2.2 | Übersicht über vordefinierte Verhaltenskategorien | 20 |
| 2.3 | Übersicht über Verhaltensreaktionen auf das individuelle Tonsignal | 21 |
| 2.4 | Ethogramm im <i>open field / novel object</i> Test | 24 |
| | | |
| 3.1 | Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität vor Beginn der Versuchsperiode, Vergleich unterschiedlicher Aktivitäten | 34 |
| 3.2 | Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität der Futteraufnahme vor Beginn der Versuchsperiode | 34 |
| 3.3 | Basiswerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität vor Beginn der Versuchsperiode | 35 |
| 3.4 | Basiswerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität in den einzelnen Phasen der Versuchsperiode, alle Aufrufe | 35 |
| 3.5 | Basiswerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität in den einzelnen Phasen der Versuchsperiode, erster Aufruf | 36 |
| 3.6 | Basalwerte der Herzfrequenz- und Herzschlagvariabilitäts-Parameter vor Beginn der Versuchsperiode | 49 |
| 3.7 | Signifikanter Einfluss der Behandlungsgruppe auf die Absolutwerte einiger Verhaltensweisen im ersten kombinierten <i>open field / novel object</i> Test vor Beginn der Versuchsperiode | 55 |
| 3.8 | Einfluss der Testwiederholung und der Behandlungsgruppe auf die Absolut- und Differenzwerte verschiedener Verhaltensweisen im <i>open field / novel object</i> Test | 56 |
| 3.9 | Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im ersten <i>open field / novel object</i> Test | 58 |
| 3.10 | Signifikanter Einfluss von Testwiederholung, Testabschnitt und Behandlungsgruppe auf die Absolutwerte und Differenzwerte der Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im <i>open field / novel object</i> Test | 59 |
| | | |
| 4.1 | Veränderung der Aktivität im autonomen Nervensystem durch unterschiedliche Verhaltensaktivität und diurnale Veränderungen während der Messperiode | 63 |
| 4.2 | Veränderung der Aktivität im autonomen Nervensystem durch den selbstbestimmten Beginn der Futteraufnahme vor Beginn der Versuchsperiode | 65 |
| 4.3 | Veränderung der Aktivität im autonomen Nervensystem durch Ankündigung von Futter in Form des Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode | 67 |
| 4.4 | Aktivität im autonomen Nervensystem während der Futteraufnahme in der Versuchsperiode | 68 |
| 4.5 | Veränderung der basalen Aktivität im autonomen Nervensystem | 73 |
| 4.6 | Veränderung des Verhaltens mit Wiederholung des externen Verhaltenstests | 76 |
| 4.7 | Physiologische Veränderungen mit Wiederholung des externen Verhaltenstests | 77 |
| 4.8 | Unterschiede zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe im externen Verhaltenstests | 78 |
| | | |
| A.1 | Kombinierter <i>open field / novel object</i> Test, Absolutwerte der beobachteten Verhaltensweisen | 104 |
| A.2 | Kombinierter <i>open field / novel object</i> Test, Differenzwerte zum <i>open field</i> Test 1 der beobachteten Verhaltensweisen | 106 |

| | | |
|-----|--|-----|
| B.1 | Absolutwerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität im ersten Verhaltenstest | 110 |
| B.2 | Absolutwerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität im zweiten Verhaltenstest | 110 |
| B.3 | Absolutwerte der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität im dritten Verhaltenstest | 111 |
| B.4 | Differenzwerte der Herzfrequenz und Herzschlagvariabilität im wiederholten kombinierten open field / novel object Test | 112 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Ton-Schalter-Futterautomat | 12 |
| 2.2 | Schematische Darstellung des Versuchsablaufes | 13 |
| 2.3 | Typisches Aufrufschema | 14 |
| 2.4 | Schwein mit Herzfrequenzmesssystem | 16 |
| 2.5 | Zeitpunkte der Messungen der Herzschlagaktivität im allgemeinen Versuchsablauf | 19 |
| 2.6 | Schwein mit Herzfrequenzmesssystem und Schutzgurt darüber in der normalen Haltungsumwelt | 19 |
| 2.7 | Zeitpunkte der Wiederholungen des <i>open field / novel object</i> Tests | 25 |
| 3.1 | Tägliche abgerufene Futtermenge in Phase 1 | 31 |
| 3.2 | Täglicher Lernerfolg in den Phasen 2 bis 3 FR5 | 32 |
| 3.3 | Mittlere tägliche Latenz in den Phasen 2 bis 3 FR5 | 33 |
| 3.4 | Reaktion der Herzfrequenz und der Herzschlagvariabilität auf den Beginn der Futteraufnahme in der Läuferphase | 37 |
| 3.5 | Allgemeine Reaktion der Herzfrequenz auf den Stimulus „Futter“ in der Versuchsperiode | 38 |
| 3.6 | Allgemeine Reaktion des SDNN-Wertes auf den Stimulus „Futter“ in der Versuchsperiode | 39 |
| 3.7 | Allgemeine Reaktion des RMSSD-Wertes und des Verhältnisses RMSSD/SDNN auf den Stimulus „Futter“ in der Versuchsperiode | 40 |
| 3.8 | Entwicklung der Reaktion der Herzfrequenz auf den Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode | 41 |
| 3.9 | Entwicklung der Reaktion des SDNN-Wertes auf den Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode | 42 |
| 3.10 | Entwicklung der Reaktion des RMSSD-Wertes auf den Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode | 43 |
| 3.11 | Entwicklung der Reaktion des Verhältnisses RMSSD/SDNN auf den Stimulus „Futter“ während der Versuchsperiode | 44 |
| 3.12 | Reaktion der Herzfrequenz in der Versuchsgruppe auf den individuellen Aufruf zu verschiedenen Zeitpunkten | 45 |
| 3.13 | Reaktion des SDNN-Wertes und des Verhältnisses RMSSD/SDNN in der Versuchsgruppe auf den individuellen Aufruf zu verschiedenen Zeitpunkten | 46 |
| 3.14 | Reaktion der Herzfrequenz und der Parameter der Herzschlagvariabilität in der Versuchsgruppe auf den individuellen Aufruf, Aufruf vs. kein Aufruf | 47 |
| 3.15 | Entwicklung der basalen Herzfrequenz während der Versuchsperiode | 49 |
| 3.16 | Entwicklung der Basalwerte von SDNN, RMSSD und RMSSD/SDNN während der Versuchsperiode | 51 |
| 3.17 | Entwicklung der Basalwerte der LF- und HF-Komponenten des Power-Spektrums während der Versuchsperiode | 52 |
| 3.18 | Entwicklung des basalen LF/HF-Verhältnisses während der Versuchsperiode | 53 |
| 3.19 | Entwicklung der Basalwerte der RQA-Parameter während der Versuchsperiode | 54 |

DANKSAGUNG

In erster Linie möchte ich mich bei meinen Betreuern bedanken – PD Dr. Birger Puppe, Dr. Jan Langbein und Prof. Dr. Gerhard Manteuffel – die mir die Arbeit in ihrer Arbeitsgruppe und an diesem Thema ermöglicht haben. Sie hatten immer offene Türen und offene Ohren für meine Fragen und Ideen.

Der Schaumann-Stiftung und der Fazit-Stiftung danke ich für die finanzielle Unterstützung.

Dr. Nürnberg danke ich für die Unterstützung in statistischen Dingen.

Katrin Siebert danke ich für die Arbeitserleichterung durch Excel-Makros.

Evi Normann danke ich für die Einführung in den Umgang mit Schweinen, für die tatkräftige Hilfe bei der Versuchsdurchführung und Datenauswertung. Ihre Hilfe, selbst an Wochenenden und Feiertagen, war und ist unbezahlbar.

Ohne die Hilfe von Frau Engel würde ich wahrscheinlich immer noch an der Auswertung der Herzfrequenzdateien sitzen.

Kurt Wendland, Heinz Deike und Dieter Sehland danke ich für die technische Unterstützung. Ging es um Kameras, Videorekorder, Computer, Schalterabdeckungen oder diverse Ton-Schalter-Futterautomaten-Probleme, standen sie mir immer mit Rat und Tat zur Seite.

Herrn Reichwagen aus dem Institut für Physik der Universität Rostock, AG Optik, danke ich für den äußerst praktischen akustooptischen Konverter.

Frau Hamel danke ich für die bürokratische Unterstützung und die Toleranz gegenüber meiner Verständnislosigkeit in Sachen Dienstreiseanträgen.

Dem gesamten Fachbereich Verhaltensphysiologie des FBN danke ich für die herzliche Aufnahme.

Einen herzlichen Dank an meine Büro-„Mitbewohner“ – Dr. Ulrike Baymann/Bauer, Maria Gräbner und Theresa Blank/Hameister – für fachlichen Austausch und nicht-fachliche Abwechslung.

Für sozialen, kreativen, therapeutischen und philosophischen Austausch danke ich der Dienstags-Dönerrunde und der Mittwochs-Salatrunde.

Ein großer Dank geht an meine Familie und Familie Ziems, die in allen Dingen hinter mir standen und stehen.

Toralf Ziems danke ich für die humorvollen Ablenkungsmanöver, fachliche Diskussionen, die kritische Korrektur der Arbeit in letzter Sekunde sowie die seelisch-moralische Unterstützung in allen Lebenslagen.

Zu guter Letzt danke ich meinen 48 Versuchstieren für ihre rege Teilnahme an dem Versuch. Sie haben mindestens genauso viele kognitive Herausforderungen an mich gestellt wie ich an sie.

ERKLÄRUNG

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig 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.

Rostock, 05.06.2009