

Aus dem
Institut für Tierzucht und Tierhaltung mit Tierklinik
(Direktor: Prof. Dr. habil. Dr. h. c. G. v. Lengerken)
der
Landwirtschaftlichen Fakultät
(Dekan: Prof. Dr. habil. W. Diepenbrock)
der
Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg



**„Kurz- und langfristige Änderungen von
Herzschlagvariabilität und Herzschlagfrequenz
als Reaktion auf Veränderungen in der sozialen Umwelt
(Gruppierung und Grooming-Simulation) von Hausschweinen“**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
doctor agriculturarum (Dr. agr.)

vorgelegt von
Diplom-Biologe
Sven Hansen

geb. am 13.07.1964
in Berlin

Gutachter:
Prof. Dr. E. v. Borell
Prof. Dr. R. Gattermann
Prof. Dr. F. Ellendorff

Verteidigung am: 10. Januar 2000

Halle (Saale) 1999

Inhaltsverzeichnis

	Inhaltsverzeichnis	i-ii
	Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	iii-iv
	Glossar - Verzeichnis der Abkürzungen und Fachtermini	v-vii
1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Beurteilung der Streßempfindlichkeit bei Nutztieren	3
2.2	Anwendung der Herzschlagfrequenz in der Nutztierforschung	5
2.3	Herzschlagfrequenz als Indikator für interne und externe Veränderungen	6
2.4	Steuerung des Herzschlags	10
2.5	Aussagekraft der Herzschlagfrequenz	11
2.6	Herzschlagvariabilität	12
2.7	Vorteile der HRV gegenüber der HR	15
2.8	Analyseverfahren der HRV	16
2.9	Der Vagustonus als Belastungsparameter	17
2.10	Quantitative Lorenzplot-Analyse	18
3	Material und Methoden	21
3.1	Tiere und allgemeine Haltungsbedingungen	21
3.1.1	Tiere	21
3.1.2	Standort des Versuchsstalls	21
3.1.3	Versuchsstall	21
3.1.4	Buchtenbelegung	23
3.1.5	Haltungsumwelt	23
3.1.6	Außereperimentelle Tier-Betreuer-Kontakte	24
3.2	Datenaufnahme	24
3.3	Datenbearbeitung	26
3.4	Versuchsdesign - Haltungsexperiment	27
3.5	Versuchsdesign - Groomingexperiment	30
3.6	Statistische Methoden	32
4	Ergebnisse	35
4.1	Vorbemerkung	35
4.2	Haltungsexperiment	35
4.2.1	Fragestellung im Haltungsexperiment	35
4.2.2	Einfluß der Tageszeit	35
4.2.3	Einfluß zusätzlicher Beschäftigungsmöglichkeiten	37
4.2.4	Einfluß der Gruppierung auf die kardiologischen Parameter	38

4.2.5	Einfluß der Gruppierung auf die Gewichtsentwicklung	47
4.3	Groomingexperiment	49
4.3.1	Fragestellung im Groomingexperiment	49
4.3.2	Kurzfristige (unmittelbare) Effekte der Grooming-Simulationen	49
4.3.3	Langfristige Effekte der Grooming-Simulationen auf die basalen Parameterwerte	60
5	Diskussion	62
5.1	Methodische Diskussion	62
5.1.1	Motorische Einflüsse	62
5.1.2	Individualität	64
5.1.3	Interne Rhythmen	67
5.1.4	Einflüsse der Messung	69
5.1.5	Meßartefakte	70
5.1.6	Zusammenfassung der methodischen Diskussion	72
5.2	Haltungsexperiment	73
5.2.1	Allgemeine (experimentunabhängige) Effekte	73
5.2.2	Experimentelle Effekte durch zusätzliche Manipulationsobjekte	74
5.2.3	Experimentelle Effekte durch die Gruppierung	77
5.3	Groomingexperiment	80
5.3.1	Gewöhnung der Tiere an die Grooming-Simulationen	80
5.3.2	Biologische Funktion des Groomings bei Schweinen	80
5.3.3	Kurzfristige Effekte der Grooming-Simulationen	81
5.3.4	Langfristige Effekte der Grooming-Simulationen	84
5.4	Allgemeine Diskussion	86
5.5	Bedeutung der Ergebnisse für die praktische Schweinehaltung	91
5.6	Ausblick	92
6	Schlußfolgerungen	94
7	Zusammenfassung	96
8	Summary	99
9	Literatur	101
	Anhang	I- XVI
	Erklärung	
	Lebenslauf	
	Danksagung	

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

2 Literaturübersicht

Abbildungen:

Abb. 2-1	Entstehung der Herzschlagvariabilität (HRV)	13
Abb. 2-2	Tachogramm eines ruhenden Hausschweins	14
Abb. 2-3	Lorenzplot mit den HRV-Parametern SD1 und SD2	19

3 Material und Methoden

Abbildungen:

Abb. 3-1	Versuchsstall	22
Abb. 3-2	Buchtenbelegung	23
Abb. 3-3	Auswahl der validen 5-min-Intervalle	27
Abb. 3-4	Schematische Darstellung der Versuchsdesigns im Haltungsexperiment	28
Abb. 3-5	Zeitplan der telemetrischen Messungen im Groomingexperiment	30
Abb. 3-6	Beispiel einer Ergebnisdarstellung	33

Tabellen:

Tab. 3-1	Wochenzeitplan der telemetrischen Meßzeiten	29
----------	---	----

4 Ergebnisse

Abbildungen:

Abb. 4-1	Vergleich der Meßzeiten	36
Abb. 4-2	Einfluß der Gruppierung auf die Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2	39
Abb. 4-3	Einfluß der Gruppierung auf die Änderung der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 zur Vorwoche	43
Abb. 4-4	Einfluß der Gruppierung auf die Gewichtsentwicklung	48
Abb. 4-5	Einfluß experimentellen Groomings (HGET) auf die Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2	50
Abb. 4-6	Grooming-Simulation von Mensch bei Schwein - Herzfrequenz Akzeptor	56
Abb. 4-7	Grooming von Schwein bei Schwein - Herzfrequenz Akzeptor	57
Abb. 4-8	Grooming von Schwein bei Schwein - Herzfrequenz Akteur	59
Abb. 4-9	Langfristige Effekte regelmäßiger Grooming-Simulationen (HGET) auf die Änderung der basalen Werte der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2	61

Tabellen:

Tab. 4-1	Ohne vs. mit zusätzlichen Objekten zur Beschäftigung	37
Tab. 4-2	Gruppierung vs. Kontrolle - Absolute Werte der Herzschlagparameter	38
Tab. 4-3	Gruppierung vs. Kontrolle - Änderung zur Vorwoche	44
Tab. 4-4	Individuelle relative Änderungen der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 zwischen den Zeitintervallen 10-15 (Vorphase) und 15-20 (HGET) bei 16 Schweinen	53
Tab. 4-5	Herzschlagparameter für die Tachogramme in Abb. 4-6, 4-7 und 4-8	56
Tab. 4-6	Ausgewählte Versuchsmessungen (HGET) von Tier Nr.61	58
Tab. 4-7	Veränderungen der Herzschlagparameter in drei innerartlichen Grooming-Situationen bei Tier Nr.35 (Akzeptor)	58

5 Diskussion

Abbildungen:

Abb. 5-1	Inkompatibilität der Synchronisation von Herzschlagfrequenz und kurzen Verhaltensmustern bei direkter zeitlicher Kopplung	63
----------	---	----

Tabellen:

Tab. 5-1	Konstruierte Fallbeispiele	65
----------	----------------------------	----

Anhang

Tabellen:

Tab. A-1	Einfluß der Tageszeiten	I
Tab. A-2	Anzahl valider 5-min-Intervalle und HR im Haltungsexperiment	II
Tab. A-3	SD1 und SD2 im Haltungsexperiment	III
Tab. A-4	Änderung der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 zur Vorwoche im Haltungsexperiment	IV
Tab. A-5	LW vs. LW - p-Werte für HR, SD1 und SD2 im Haltungsexperiment	V
Tab. A-6	LW vs. LW - p-Werte für Änderungen der HR, SD1 und SD2 zur Vorwoche im Haltungsexperiment	V
Tab. A-7	Gruppierung vs. Kontrolle - ohne Tier Nr.35 - Haltungsexperiment	VI
Tab. A-8	Intervall vs. Intervall - HR, SD1 und SD2 - HGET	VI
Tab. A-9a-c	Parameterwerte und prozentuale Abweichungen der Parameter HR, SD1 und SD2 in den 5-min-Intervallen bezogen auf das Intervall 10-15 im HGET; Tab. A-9a: HR [bpm]; Tab. A-9b: SD1 [ms]; Tab. A-9c: SD1 [ms]	VII- VIII
Tab. A-10	Individueller Vergleich der Herzschlagparameters HR vor (Vorphase) und während experimentellen Groomings (HGET) bei 16 Schweinen	IX
Tab. A-11	Individueller Vergleich der Herzschlagparameters SD1 vor (Vorphase) und während experimentellen Groomings (HGET) bei 16 Schweinen	X
Tab. A-12	Individueller Vergleich der Herzschlagparameters SD2 vor (Vorphase) und während experimentellen Groomings (HGET) bei 16 Schweinen	XI
Tab. A-13	Statistische Prüfung auf langfristige Einflüsse des HGET-Experiments	XII
Tab. A-14a-d	Langfristige Einflüsse des HGET-Experiments auf die kardiologischen Wochenwerte; Tab. A-14a: Anzahl valider 5-min-Intervalle; Tab. A-14b: HR [bpm]; Tab. A-14c: SD1 [ms]; Tab. A-14d: SD2 [ms]	XIII- XIV
Tab. A-15	Gewichtsentwicklung der Versuchs- und Kontrolltiere im Haltungsexperiment	XV
Tab. A-16	Gewichtsentwicklung der Versuchs- und Kontrolltiere im Haltungsexperiment - Statistischer Vergleich der Lebenswochen	XVI

Glossar - Verzeichnis der Abkürzungen und Fachtermini

\tilde{x}	Median
$s\tilde{x}$	Standardfehler des Medians
\tilde{D}	Median-Deviation; (engl.) median absolute deviation, MAD; robustes Streuungsmaß des Medians, nach SACHS (1997) wichtiger als Standardfehler des Medians.
α	Signifikanzniveau (in dieser Studie wurde $\alpha = 0,05$ festgesetzt)
* (im Text und in einigen Tabellen)	Der davor stehende p-Wert ist signifikant auf dem hier festgesetzten Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$.
★ (in Abbildungen und einigen Tabellen)	Die Unterschiede zwischen den Stichproben sind signifikant auf dem hier festgesetzten Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$.
Abb.	Abbildung
Aktor	Subjekt, welches soziale Interaktion ausführt oder initiiert.
Akzeptor	Subjekt, welches soziale Interaktion empfängt.
Anh.	Anhang
bpm	(engl.) beats per minute = (dt.) Herzschläge pro Minute; internationale Einheit der HR
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	das heißt
dt.	deutsch
EKG	Elektrokardiogramm
engl.	englisch
etc.	(lat.) et cetera = (dt.) und so weiter
et al.	(lat.) et alii = (dt.) und andere
Grooming, groomen (Verb)	Aus der englischsprachigen Literatur (grooming) eingedeutschter ethologischer Begriff, der sämtliche Formen von Körperpflegehandlungen umfaßt, sowohl jene, die in den Kontext Komfortverhalten (Putzen, Kratzen) gehören, als auch solche, die eher der sozialen Bindung zwischen Gruppenmitgliedern dienen (Einander-Lausen bei Primaten). Das englische 'grooming' wird in der Verhaltensforschung besonders dann verwendet, wenn die Funktion des Verhaltens nicht eindeutig ist. In der ethologischen Fachliteratur wird oft zwischen Autogrooming ('Selbst-Grooming') und Allogrooming (gegenseitiges Grooming) unterschieden. Hier wird der Begriff Grooming nur im Sinne von Allogrooming verwendet.
HF-Komponente	(engl.) high frequency (HF-)band im Powerspektrum einer Fast Fourier Analyse der RR-Intervalle (Frequenzanalyse). Die HF-Komponente liegt beim Menschen zwischen 0,15 und 0,4 Hz (TASK FORCE 1996).

HGET	(engl.) Human Groom Encounter Test: fünfminütige Grooming-Simulation mit den Fingern durch den Versuchsleiter (Aktor) beim Versuchstier (Akzeptor).
HR	(engl.) heart rate = (dt.) Herzschlagfrequenz oder Herzfrequenz [bpm] (HR [bpm] = 60.000 / RR-Intervall [ms]).
HRV	(engl.) heart rate variability = (dt.) Herzschlagvariabilität; bezeichnet die für den gesunden Organismus typische Unregelmäßigkeit aufeinanderfolgender RR-Intervalle; eigene Übersetzung, da ein einheitlicher Begriff im Deutschen nicht vorhanden ist; der in älteren Publikationen (z.B. LAURIG und PHILIPP 1970) verwendete Begriff Herzschlagarrhythmie ist verwirrend, da er auch für Störungen des Herzrhythmus verwendet wird (PSCHYREMBEL 1982).
HR(V)	Die zitierte Aussage wurde für die HR gemacht, gilt aber auch für die HRV
i.d.R.	in der Regel
K	Kontrolltiere
lat.	lateinisch
LF-Komponente	(engl.) low frequency (LF-)band im Powerspektrum einer Fast Fourier Analyse der RR-Intervalle (Frequenzanalyse). Die LF-Komponente liegt beim Menschen zwischen 0,04 und 0,15 Hz (TASK FORCE 1996).
Lorenzplot	Wird auch Poincaré-Plot oder Streudiagramm (engl.: scattergram) genannt. Der Lorenzplot ist die graphische Darstellung aller RR-Intervalle eines Zeitraumes als Funktion des jeweils vorangegangenen RR-Intervalls.
LW20, LW21,...	20., 21.,... Lebenswoche
M1, M2, M3	Meßzeiten
min	Minuten
ms	Millisekunden
n	Anzahl der Tiere, Messungen, usw. (Stichprobengröße)
p	p-Wert; (engl.) p-level
RMSSD	(engl.) root mean square successive differences (= Quadratwurzel des Mittelwertes aller quadrierten Differenzen aufeinanderfolgender RR-Intervalle)
RR-Intervall	Zeitintervall zwischen den R-Zacken aufeinander folgender Herzschläge im EKG [ms]
s	Sekunden
s.	siehe
S.	Seite
s.o. / s.u.	siehe oben / siehe unten (wurde nur innerhalb eines Abschnitts verwendet; andernfalls wurde der entsprechende Abschnitt angegeben)

SD1	(engl.) standard deviation of instantaneous beat-to-beat RR-interval variability [ms]; HRV-Parameter aus der hier verwendeten quantitativen Lorenzplot-Analyse (s. 2.10).
SD2	(engl.) standard deviation of continuous long-term RR-interval variability [ms]; HRV-Parameter aus der hier verwendeten quantitativen Lorenzplot-Analyse (s. 2.10).
SDNN	Standardabweichung aller aufeinanderfolgenden RR-Intervalle [ms]
Tab.	Tabelle
Trainingsbradykardie	Mit der Umstellung des Herzens beim Training geht eine Umstellung im vegetativen Nervensystem einher, die mit einem erhöhten Vagustonus und damit einer Verminderung der HR gekoppelt ist (MÖRIKE 1989).
U	U-Wert aus Mann-Whitney U-Test
U_{DIFF}	$= \frac{1}{2} U_V - U_K $; Signifikanzmaß beim Mann-Whitney U-Test (abhängig von $n(V)$ und $n(K)$)
U_K	U-Wert der Stichprobe der Kontrolltiere
U_m	U-Wert der Stichprobe der Versuchstiere <u>mit</u> zusätzlichen Beschäftigungsmöglichkeiten in Gruppenhaltung ab LW22
U_o	U-Wert der Stichprobe der Versuchstiere <u>ohne</u> zusätzliche Beschäftigungsmöglichkeiten in Gruppenhaltung ab LW22
U_V	U-Wert der Stichprobe der Versuchstiere
V	Versuchstiere ($V_m + V_o$, $n = 16$ Schweine)
V_m	Versuchstiere mit zusätzlichen Beschäftigungsmöglichkeiten in Gruppenhaltung ab LW22 ($n = 8$ Schweine)
V_o	Versuchstiere ohne zusätzliche Beschäftigungsmöglichkeiten in Gruppenhaltung ab LW22 ($n = 8$ Schweine)
vs.	(lat.) versus = (dt.) gegen; verwendet beim statistischen Vergleich zweier Stichproben
wg.	wegen
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

1 Einleitung

Wenn Haltungssysteme für Nutztiere entwickelt werden, interessieren - abgesehen von ökonomischen Kriterien - immer häufiger Aspekte der artgerechten Tierhaltung, d.h. die Haltungsbedingungen sollen (1) unnötiges Leiden der Tiere vermeiden oder sogar (2) das Wohlbefinden der Tiere fördern (DAWKINS 1980, BROOM 1991). Da derartige Zustände subjektive Empfindungen seitens der Tiere darstellen, zu denen wir keinen direkten Zugang haben, sind wir gefordert, objektivierbare Kriterien zu finden, mit deren Hilfe wir sozusagen auf indirektem Wege das 'Wohlbefinden' und 'Leiden' von Tieren beurteilen können (CURTIS und STRICKLIN 1991). Ein Weg ist die Messung physiologischer Belastungsreaktionen.

Tiere reagieren auf Veränderungen ihrer Umwelt, wobei ihr autonomes Nervensystem eine zentrale Rolle spielt. Änderungen in der sympatho-vagalen Balance des autonomen Nervensystems beeinflussen auch die Aktivität des Herzens (HAINSWORTH 1995). Um Belastungsreaktionen bei Tieren zu messen, wird in der Nutztierforschung deshalb oft die relativ leicht zu messende Herzschlagfrequenz (HR; engl.: heart rate) als Belastungsparameter verwendet. Während der direkte, kurzfristige Einfluß diverser Stimuli auf die HR vergleichsweise gut untersucht ist, ist über länger anhaltende Veränderungen kaum etwas bekannt. In dem Report „The Welfare of Intensively Kept Pigs“ des SCIENTIFIC VETERINARY COMMITTEE (1997) an das *Directorate General XXIV of the European Commission* wird festgestellt, daß Messungen der HR zwar zur Untersuchung kurzfristiger Probleme von Tieren durchaus geeignet seien, aber kaum Aussagen über langfristige Effekte zulassen, die sich aus der Haltung von Tieren ergeben. Zudem liefert die HR nur eine begrenzte Aussagen über die Charakteristik der sympatho-vagalen Interaktion (TULPPO et al. 1998). So kann z.B. eine Erhöhung der HR sowohl durch eine Verringerung der parasympathischen Aktivität, als auch durch eine Erhöhung der sympathischen Aktivität, oder, wie in den meisten Fällen, durch eine Kombination aus beiden Einflüssen hervorgerufen werden. Die Aktivität dieser beiden Antagonisten des autonomen Nervensystems bestimmt aber die Belastungssituation des Organismus. Eine hohe Aktivität des Sympathikus weist im allgemeinen auf eine körperliche oder mentale Anspannung hin, während eine hohe parasympathische Aktivität für den entspannt ruhenden Organismus typisch ist (MALLIANI et al. 1991, HAINSWORTH 1995).

Die Steuerung des Herzschlags durch Sympathikus und Parasympathikus (und andere Steuerungskomponenten) bewirkt einen unregelmäßigen Herzschlag (MOSS 1995). Diese Form der 'Arrhythmie' des Herzschlags kennzeichnet ein gesundes Herz und wird *Herzschlagvariabilität* (HRV; engl.: heart rate variability) genannt. HRV ist ein Oberbegriff für eine Vielzahl von HRV-Parametern, die mit sehr unterschiedlichen Verfahren bestimmt werden können. Vor allem der Vagustonus (Parasympathikus) kann mit einigen HRV-Parametern besonders gut abgebildet werden (TASK FORCE 1996).

Im Rahmen dieser Arbeit interessierte, ob bzw. wie soziale Stimuli die basale HR und HRV beim Hausschwein verändern (hier: basal = Werte des ruhenden Organismus im Wochenmedi-

an). In zwei Experimenten wurde der Einfluß von zwei unterschiedlichen sozialen Stimuli auf HR und HRV untersucht, wobei der Schwerpunkt auf den langfristigen Veränderungen lag.

In Experiment 1 interessierte, ob eine Gruppierung von zuvor einzeln gehaltenen Hausschweinen, deren basale HR und HRV langfristig veränderte. Zudem interessierte, ob die Gabe von Manipulationsobjekten eventuell auftretende Gruppierungseffekte beeinflusste.

Schweine zählen zu den sozial lebenden Tieren, die sich unter natürlichen Bedingungen in hierarchisch strukturierten Gruppen organisieren (MEYNHARDT 1990). Daher kann man davon ausgehen, daß die Gruppenhaltung von Schweinen der Natur der Tiere gerechter wird, als deren Einzelhaltung. Allerdings treten unter den heute üblichen Haltungsbedingungen bei der Gruppenhaltung häufig Probleme auf, da Mastschweine aus ökonomischen Gründen bei hoher Besatzdichte mit demzufolge eingeschränkter Bewegungsfreiheit in relativ reizarmer Umwelt gehalten werden (BORELL 1995a). Vor allem reiz- und manipulationsarme Haltungsbedingungen stehen bei Schweinen im Zusammenhang mit Verhaltensproblemen wie Schwanzbeißen oder Stereotypien (BROOM 1983, DANTZER 1986, BORELL & HURNIK 1991). Weitere Probleme ergeben sich daraus, daß Mastschweine bis zur Schlachtung mehrmals Neugruppierungen mit unbekanntem Artgenossen erfahren, wodurch sie stark belastet werden (BORELL 1995b).

Hier wurde die Hypothese aufgestellt, daß eine Gruppierung aufgrund der daraus resultierenden Belastung die HR und HRV von Schweinen langfristig verändert, wobei die Gabe von Manipulationsobjekten möglicherweise einen belastungsmindernden Effekt haben könnte.

In Experiment 2 interessierte, ob die Simulation von Grooming die basale HR und HRV von Schweinen kurz- und langfristig beeinflusste.

Schweine zeigen komplexe Interaktionsformen, zu denen auch soziale Körperpflege (engl.: grooming) gehört (MEYNHARDT 1990). Dabei tasten sie mit der Rüsselscheibe systematisch die Körperoberfläche eines Artgenossen ab, wobei sie Fremdkörper mit der Schnauze entfernen. Das 'entspannte' Verhalten (MEYNHARDT 1990) des jeweiligen Akzeptors (z.B. ruhige Seitenlage, geschlossene Augen, geringer Muskeltonus) deutet darauf hin, daß Grooming für Schweine einen positiven Stimulus darstellt. Bei Primaten (BOCCIA et al. 1989, AURELI et al. 1999) und Pferden (FEH & MAZIÈRES 1993) wurde beobachtet, daß Grooming beim Akzeptor zu einer Senkung der HR führt. Daher wurde hier die Hypothese aufgestellt, daß Grooming auch bei Schweinen die HR und HRV beeinflusst. Neben der direkten, kurzfristigen Wirkung von Grooming (simuliert durch einen Experimentator) interessierten auch längerfristige Auswirkungen durch wiederholte Grooming-Simulationen.

Mit den beiden Experimenten sollten folgende Fragen beantwortet werden:

1. Lassen sich bei Schweinen - entgegen der allgemeinen Auffassung (s.o.) - langfristige Auswirkungen von Änderungen der sozialen Umwelt mit HR und HRV dokumentieren?
2. Bilden HRV-Parameter kurz- und langfristige Reaktionen auf soziale Stimuli bei Schweinen möglicherweise besser ab als einfache HR-Messungen?
3. Kann man anhand der Richtung der Veränderung der kardiophysiologischen Parameter darauf schließen, wie Tiere einen Stimulus bewerten (im Sinne eines 'positiven' oder 'negativen' Stimulus)?

2 Literaturübersicht

2.1 Beurteilung der Streßempfindlichkeit bei Nutztieren

Unter dem Begriff 'Streßempfindlichkeit' von Nutztieren wird deren besondere Anfälligkeit gegenüber im Produktionsprozeß auftretenden Belastungen bei der Aufzucht, dem Transport und der Schlachtung verstanden (LENGERKEN et al. 1997). Insbesondere ungünstige Haltungsbedingungen (z.B. hohe Besatzdichte auf engem Raum in reizarmer Umgebung) führen zu einer starken Belastung der Tiere (Borell 1995a+b).

Die einseitige Selektion auf hohes Muskelbildungsvermögen hat zu einer Erhöhung der Streßempfindlichkeit und zu Funktionsschwächen in anderen Organsystemen geführt, wovon vor allem hochgezüchtete Schweinerassen, aber auch Geflügel- und einige Rinderrassen betroffen sind (LENGERKEN et al. 1997). So kann z.B. der Herz-Kreislaufapparat von Hausschweinen auf körperliche Belastungen nicht mehr optimal reagieren (THIELSCHER 1987). Im Vergleich zu Mensch und Hund muß beim Schwein der Herzmuskel wegen der geringeren arteriellen Sauerstoffsättigung und des erheblich niedrigeren Hämoglobingehalts mit einer rund 22 % geringeren Sauerstoffmenge für den oxidativen Stoffwechsel auskommen (THIELSCHER 1984). Zudem ist das relative Herzgewicht beim Hausschwein gegenüber der Wildform um ca. die Hälfte verringert: Während das relative Herzgewicht beim Wildschwein mit 0,38 % (DÄMMRICH 1987) bzw. 0,63 % (GSCHWEND 1931) angegeben wird, beträgt es beim Hausschwein 0,21 % (DÄMMRICH 1987) bzw. 0,29 % (THIELSCHER 1984).

Durch die zuchtbedingte erhöhte Streßempfindlichkeit werden aber auch die reproduktive Fitneß und vor allem die Fleischbeschaffenheit negativ beeinflusst, z.B. durch Bildung von PSE-Fleisch während des Schlachtprozesses infolge überhöhter biochemischer Abbauprozesse (LENGERKEN et al. 1997). In engem Zusammenhang mit der Streßempfindlichkeit stehende Fleischqualitätsmerkmale, die nach der Schlachtung gemessen werden, sind von Umwelteinflüssen abhängig und können, wegen der schwer standardisierbaren Bedingungen auf den Schlachthöfen, nur sehr bedingt für einen Selektionsentscheid verwendet werden (LENGERKEN et al. 1997). Daher werden seit einigen Jahren verstärkt molekularbiologische Verfahren angewendet, die auch am lebenden Organismus anwendbar sind: FUJII et al. (1991) konnten zeigen, daß eine Punktmutation im Skelettmuskel-Ryanodinrezeptor-Gen (RYR1) die Ursache für das Maligne Hyperthermie Syndrom (MHS) bei Schweinen¹ ist. Diese Mutation bewirkt einen Aminosäureaustausch von Arginin zu Cystin (MACLENNAN et al. 1992), was im homozygoten Zustand unter dem Einfluß von Streß (MACLENNAN und PHILLIPS 1992), Nikotin oder Halothan (OTSU et al. 1994) zu einer gestörten Ca^{2+} -Ausschüttung aus dem sarkoplasmatischen Retikulum in den Skelettmuskelzellen mit nachfolgender Manifestierung der klinischen Symptome einer Malignen Hyperthermie führt: Skelettmuskelstarre, Hypermetabolismus, Hyperthermie bis hin zu Zellschädigungen (Verminderung der Fleischqualität) oder sogar Tod (MACLENNAN 1992). Mittels PCR/RLFP-Test (BRENIG und BREM 1992) ist eine Differenzie-

¹ Nach MACLENNAN (1992) ist diese RYR1-Punktmutation die Ursache für Maligne Hyperthermie in allen Schweinerassen, während beim Menschen ein Zusammenhang zwischen Maligner Hyperthermie und RYR1-Punktmutation nicht bei allen Familien mit Maligner Hyperthermie beobachtet wurde.

rung der möglichen Allelkombinationen am RYR1-Locus möglich, wodurch eine wesentliche Voraussetzung für eine Selektion auf MHS-genfreie Schweinepopulationen vorhanden ist. Da aber MHS-genfreie Populationen im bestimmten Umfang ebenfalls Fleischqualitätsmängel aufweisen, sind diesbezüglich weitere Maßnahmen in der Zucht erforderlich (LENGERKEN et al. 1997). Potentielle Kandidatengene zu verschiedenen Leistungsmerkmalen sind z.B. das Porcine Obesity Gene (OBS), welches an der Regulation von Körpermasse und Körperfettdepot beteiligt ist (NEUENSCHWANDER et al. 1996) oder das Östrogenrezeptorgen (ESR) als Fruchtbarkeitsparameter (ROTHSCHILD et al. 1991). SCHWERIN et al. (1995) fanden Polymorphismen im Promotor des porcinen Hitzeschockprotein 70.2-Gens, dessen Produkt unter anderem eine wesentliche Rolle in der zellulären Antwort auf verschiedene Stressoren spielt. Damit kann dieser Genort als Kandidatengen für Merkmale, die direkt und indirekt die Streßanfälligkeit des Schweines charakterisieren, angesehen werden (LENGERKEN et al. 1997). Dieser kurze Einblick in molekularbiologische Methoden soll verdeutlichen, daß die Streßempfindlichkeit offensichtlich durch eine Vielzahl verschiedener Gene beeinflußt wird.

Oft wird versucht, sich dem Phänomen Streß auf physiologischer Ebene zu nähern (Übersicht in: HOLST 1988, LADEWIG 1994, BORELL 1995b), wobei insbesondere die Veränderungen der blutphysiologischen Parameter (z.B. Katecholamine, ACTH, Corticosteroide) der an der Streßreaktion beteiligten Sympatho-Adrenomedullären Achse und Hypothalamo-Hypophysen-Adrenocorticalen Achse gemessen werden (z.B. DANTZER et al. 1983, BORELL und LADEWIG 1989 u. 1992, BORELL und HURNIK 1991, HARBUZ und LIGHTMAN 1992, JOHNSON et al. 1994). Nach MASON (1971) stellt die Erfassung von Belastungsreaktionen in Form von erhöhten Nebennierenaktivitäten eine empfindliche und objektive Methode dar, da sich in diesen Reaktionen auch der emotionale Zustand eines Tieres widerspiegelt. Bei der Interpretation von blutphysiologischen Belastungsreaktionen können jedoch methodische Probleme auftreten, wenn die Blutentnahme nicht mit einer störungsfreien Entnahmetechnik erfolgt, d.h. wenn die Blutentnahme selbst eine Belastung für das Tier darstellt (Borell 1995a).

Die Verhaltensreaktionen während einer direkten Blutentnahme durch Punktion sind bei Schweinen, im Gegensatz zu gewöhnten Schafen oder Rindern, dermaßen stark, daß davon ausgegangen werden muß, daß die Blutentnahme selbst einen starken Stressor darstellt (SCHWARZE 1993). Wegen der starken Abwehrreaktion der Schweine bei einer direkten Blutentnahme müssen die Tiere fixiert werden, was bei Schweinen während der Fixation mit einer Nasenschlinge zu einer Erhöhung der HR führt (WADE et al. 1986). Kontinuierliche oder in kurzen Zeitintervallen erfolgende Blutentnahmen sind bei Schweinen in den erforderlichen Mengen nur mit Hilfe von implantierten Dauerkathetern möglich, wobei die Tiere allerdings nicht in der Gruppe gehalten werden können, um eine Beschädigung der Katheter durch andere Gruppenmitglieder zu vermeiden. Vollständig implantierbare Kathetersysteme für Schweine reduzieren zwar das Risiko der Zerstörung durch andere Tiere (PALMISANO et al. 1989), sind aber wegen des operativen Eingriffs relativ aufwendig und hinsichtlich der langfristigen Verträglichkeit der Implantate nicht ganz unproblematisch.

Zur Beurteilung von Belastungssituationen sind auch biophysikalische Messungen, wie z.B. die Herzschlagfrequenz, geeignet (Borell 1995a). Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Verfahren zur Untersuchung der Streßempfindlichkeit bzw. Streßreaktion bieten Parameter auf Basis telemetrischer Messungen des Herzschlags zwei entscheidende methodische Vorteile:

1. Die Datenaufnahme erfolgt immer am lebenden Organismus (im Gegensatz z.B. zur Messung der Muskelfasergesamtanzahl am Schlachtkörper), was ein Vorteil beim Selektionsentscheid in der Zucht sein kann.
2. Insbesondere für größere Nutztiere (Schweine, Pferde, etc.) existieren telemetrische Meßgeräte, die nicht-invasiv arbeiten. Vorausgesetzt, die Tiere sind an die Geräte gewöhnt, ist eine nahezu streßfreie Datenaufnahme möglich. Hierin liegt der entscheidende Vorteil der telemetrischen Messungen gegenüber der invasiven Erfassung blutphysiologischer Parameter. Für kleine Tiere (Nager, etc.) bietet der Markt implantierbare Transmitter, welche die Tiere i.d.R. nur gering belasten (Operationskomplikationen) und über lange Zeiträume Daten übertragen können (WEINANDY und GATTERMANN 1995).

2.2 Anwendung der Herzschlagfrequenz in der Nutztierforschung

Die Herzschlagfrequenz (HR) ist einer der ersten physiologischen Parameter, der in der Nutztierforschung verwendet wurde (HAUSMANN 1934, GEHRING 1939). Der wesentliche Grund hierfür dürfte in der vergleichsweise einfachen Messung liegen, z.B. mittels Stethoskop (LÜCKMANN 1958, CARDINET et al. 1963, MCCANN et al. 1988, FEH und MAZIÈRES 1993). In jüngerer Zeit wird die HR jedoch zunehmend mit telemetrischen elektrokardiologischen Methoden gemessen; für Pferde wurden sogar spezielle telemetrische Meßgeräte entwickelt (LEKEUX et al. 1982, EVANS und ROSE 1986, SLOET et al. 1988). Längerfristige telemetrische Datenaufnahmen sind bei einigen Tierarten mit implantierten Transmittern möglich (WEINANDY und GATTERMANN 1995).

Messungen der HR wurden an verschiedenen Tierarten durchgeführt¹, wobei die Daten der meisten publizierten Untersuchungen an Pferden erhoben wurden (z.B.: HAMLIN et al. 1972, WILSON et al. 1983, ART et al. 1990, DUBREUCQ et al. 1995, GOTTLIEB-VEDI et al. 1996). Aber auch an den meisten anderen (Nutz)-Tierarten wurde die HR gemessen: Schweine (z.B.: ENGELHARDT 1966, MAYES und JESSE 1980, THIELSCHER 1986, MARCHANT und RUDD 1993, WHITE et al. 1995, SUSUKI et al. 1998), Rinder (z.B.: MATSUI und SUGANO 1987, VEISSIER et al. 1989, HOPSTER und BLOKHUIS 1994, JENSEN et al. 1997, JACOBSON und COOK 1998, PILLER et al. 1999), Schafe (z.B.: MACARTHUR et al. 1979, ZUGAIB et al. 1980, BALDOCK 1985, HARLOW et al. 1987, METSÄLÄ et al. 1991, HARESIGN et al. 1995), Ziegen (z.B.: BLOOM et al. 1975, LYONS und PRICE 1987, MATSUI und SUGANO 1989), Hirsche (z.B.: MOEN 1978, POLLARD et al. 1993, DIVERIO et al. 1996), Alpacas (POLLARD und LITTLEJOHN 1995), Esel (MATTHEWS et al. 1998), Hühnervogel (z.B.: GABRIELSEN et al. 1985), Enten (z.B.: MUELLER

¹ Die folgenden Referenzen stellen jeweils nur einen kleinen Ausschnitt der Publikationen dar, in denen bei einer Tierart Messungen der HR durchgeführt wurden. Eine vollständige Auflistung wäre dem Wert der Aussage nicht angemessen und würde zudem den Rahmen sprengen. Es wurde versucht, an dieser Stelle nur Referenzen anzugeben, die nicht im Zusammenhang mit einer anderen Aussage zitiert wurden.

und PARKER 1980), Hunde (z.B.: KATONA und JIH 1975, VINCENT und LEAHY 1997, KOSTARCZYK und FONBERG 1982), Katzen (z.B.: BAUST 1974, MATZUKAWA und NINOMIYA 1987), Füchse (z.B.: KOHONEN et al. 1994, HARRI et al. 1995), Kaninchen (z.B.: CAUSBY und SMITH 1981, EISERMANN 1988), Ratten (z.B. NIJSSEN et al. 1998), Mäuse (z.B.: LEHR und WERNER 1974), Gerbille (z.B.: PROBST et al. 1987, WEINANDY und GATTERMANN 1997), Hamster (GATTERMANN und WEINANDY 1997), Tupajas (z.B.: STÖHR et al. 1986), Affen (z.B.: SUOMI 1983, LINE et al. 1989) und sogar Krabben (GRIBBLE und BROOM 1996).

2.3 Herzschlagfrequenz als Indikator für interne und externe Veränderungen

Die HR gilt als zuverlässiger Indikator für den internen physiologischen Status¹ von Tieren, insbesondere bei Vögeln und Säugetieren (JOHNSON und GESSAMAN 1973, HARLOW et al. 1987, FRASER und BROOM 1990). Für MOEN et al. (1978) ist sie unter Umständen ein besserer Indikator als das Verhalten und eignet sich z.B. nach PUTTEN und ELSHOF (1978), KOHONEN et al. (1994) und VINCENT und LEAHY (1997) zur Messung psycho-physischer (Streß-) Effekte.

Bei Schweinen führt eine Fixation mit einer Nasenschlinge zu einer Erhöhung der HR (WADE ET AL. 1986), wobei ungewiß ist, ob die Reaktion durch Angst oder/und Schmerz hervorgerufen wird. Immerhin vermag Schmerz die HR bei Schweinen stark zu erhöhen: WHITE et al. (1995) fanden, daß eine Kastration ohne das Betäubungsmittel Lidokain in einer höheren HR resultierte, als dies mit lokaler Betäubung der Fall war, wobei die stärksten HR-Reaktionen während des Skrotumschnitts und beim Herausnehmen des Samenstrangs gemessen wurden.

Akustische Stimuli können, in Abhängigkeit von der Art des Stimulus und vom Gewöhnungszustand, die HR erhöhen oder senken (ALGERS et al. 1978). Bereits das ungeborene Kind reagiert im Mutterleib zuverlässig auf akustische Reize mit einer Änderung der HR: Während laute Geräusche die HR ansteigen lassen, führen die menschliche Stimme oder Musik zu einer Abnahme der HR (LARGO 1998). SPENSLEY et al. (1994) fanden eine Erhöhung der HR bei Ferkeln, die verschiedenen synthetischen Geräuschen ausgesetzt wurden, wobei die HR von der Frequenz und der Intensität des Geräuschs abhängig war. Eine HR-Erhöhung durch akustische Stimuli konnte auch bei Rothirschen gezeigt werden (PRICE et al. 1993).

Die Wiederholung externer Stimuli führt meist zu Habituationseffekten in der HR-Reaktion, wobei eine schnelle Stimuluswiederholung oft mit einer raschen Habituation einhergeht, was für auditorische und visuelle Stimuli bei Ratten (HAROUTUNIAN und CAMPBELL 1981), die 'freezing'-Reaktion (s.u.) bei Rothirschkalbern (ESPMARK und LANGVATN 1985) und diverse nicht-soziale Stimuli bei Tupajas (STÖHR 1986) gezeigt wurde. Pferde gewöhnen sich an die veränderte Biomechanik auf einem Laufband bereits nach wenigen Wiederholungen, was sich in einer verringerten HR widerspiegelt, wobei Aufregung und Angst bei den nicht gewöhnten Tieren zu einer 'überhöhten' HR-Reaktion führen (SEEHERMANN und MORRIS 1990, BARREY et al. 1993, KING et al. 1995). Dagegen zeigten Schweine keine Habituation in der Erhöhung der

¹ Für die Bezeichnung 'interner physiologischer Status' werden in der Literatur auch Begriffe wie 'Arousal' (HARLOW et al. 1987) oder 'Metabolismus' (JOHNSON & GESSAMAN 1973) verwendet.

HR, wenn sie einen Elektrozaun berührten, wobei sie jedoch lernten den Kontakt mit dem Elektrozaun zu vermeiden (KENNEDY et al. 1995).

Die 'physikalische' Umwelt eines Organismus hat einen großen Einfluß auf die HR. Die HR eines Organismus verändert sich als Anpassung auf sich ändernde klimatische Faktoren, wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder auch Luftdruck (Höhenakklimatisation; ULMER 1977). Bei Pferden ist die HR in der Erholungsphase nach einer Belastung höher, wenn die Umgebungstemperatur und die Luftfeuchtigkeit erhöht sind (ART et al. 1995, FOREMAN et al. 1995). Eine Temperaturerhöhung muß aber nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung der HR führen: Bei einigen Mäusearten verringert sich die HR bei Erhöhung der Umgebungstemperatur von 24 °C auf 35 °C, während bei einer Temperaturabnahme auf 12 °C die HR ansteigt (ISHII et al. 1996).

Auch die Haltungsumwelt kann einen Einfluß auf die HR von Nutztieren haben. MÜLLER et al. (1989) fanden eine signifikant höhere HR bei Kühen (Färsen), die auf Teilspaltenböden in Anbindehaltung gehalten wurden, als bei Färsen in Tiefstreuhaltung, und dies unabhängig vom Verhalten (z.B. während des Wiederkauens: + 19,3 bpm). Vor allem im Zusammenhang mit dem Abliegeverhalten wurden starke Erhöhungen der HR gemessen, insbesondere während der Abliegeintention (+ 48,7 bpm). HARTUNG et al. (1997) konnten bei Schweinen in zwei verschiedenen Zutriebsystemen zur Elektrobetäubung Unterschiede in der HR in Ruhe und während des Zutriebs nachweisen.

Die soziale Umwelt, bzw. der soziale Status von Tieren beeinflusst ebenfalls die HR. Subdominante Tupajas haben gegenüber dominanten Tieren eine erhöhte HR (HOLST 1986). EISERMANN (1992) fand vergleichbare Ergebnisse bei Kaninchen: subdominante Tiere zeigten gegenüber dominanten eine signifikant chronisch erhöhte HR. Erreichten diese eine dominante Position, näherte sich die HR graduell an einen, für dominante Kaninchen charakteristischen, niedrigen HR-Level an. Bei in Gruppen gehaltenen Sauen wurden von MARCHANT et al. (1995) länger hohe HR-Werte bei den Verlierern agonistischer Interaktionen (Kämpfen und Drohen) gefunden, wobei einschränkend angemerkt werden muß, daß nur 3 Tiere analysiert werden konnten und die Autoren selbst auf den Einfluß motorischer Aktivität hinweisen (s.u.). OTTEN et al. (1997) maßen die HR von Schweinen in den ersten Stunden nach einer Konfrontation mit bekannten bzw. unbekanntem Schweinen. Während nach der Konfrontation mit bekannten Schweinen die HR bei den hochrangigen Tieren größer war als bei den Tieren mit niedrigem Rang, wurde bei Konfrontation mit unbekanntem Schweinen ein umgekehrtes Verhältnis beobachtet: die geringere HR-Reaktion wurde hier bei Schweinen mit hohem Rang beobachtet.

Hunger vermindert die HR, was auf die verringerte metabolische Umsatzrate aufgrund unzureichender Energiezufuhr zurückgeführt wird (ROBERT et al. 1997). Bei Kühen verringerte Fasten über 48 Stunden die Ruhe-HR signifikant und eine manuelle Entleerung des Pansens bei Stieren resultierte in einer mittleren Verringerung der HR um 22 % (CLABOUGH und SWANSON 1989). Unter seminaturalen Bedingungen untersuchte europäische Wildkaninchen hatten in der futterarmen Überwinterungsperiode eine über 30 % geringere HR als in Perioden mit optimalem Nahrungsangebot (EISERMANN et al. 1993). Bei Sauen verringerte Futter mit geringem

gem Energiegehalt die basale HR signifikant, während der Faseranteil keinen Einfluß hatte (ROBERT et al. 1997).

Bei Sauen steigt die Ruhe-HR mit zunehmender Trächtigkeit an (MARCHANT und BROOM 1995). KENNEDY et al. (1995) fanden sogar einen Anstieg in der, ohnehin schon starken, Erhöhung der HR durch den Elektroschock eines Elektrozauns mit zunehmendem Trächtigkeitsstadium. Dieses Ergebnis verdeutlicht den Einfluß des homöostatischen Grundzustands eines Organismus selbst auf durch starke Stimuli bedingte Veränderungen der HR. Ein positiver Zusammenhang zwischen Trächtigkeit und HR wurde auch bei Schafen (BALDOCK et al. 1988) und Rothirschkühen (PRICE et al. 1993) gefunden.

Nach JÄNIG (1977) lassen sich mit der HR neben vegetativen und humoralen auch emotionale Reaktionen eines Organismus objektiv messen. Suggestiert man z.B. einer Versuchsperson, sie leide an hohem Blutverlust, so wirkt diese Suggestion als ein starker emotionaler Reiz, der zu einer deutlichen Erhöhung der HR führt (nach BLAIR et al. (1959), zitiert in: JÄNIG 1977). Durch Ärger kann sich die HR beim Menschen signifikant erhöhen (REIN et al. 1995), wobei besonders heftige emotionale Erregungen bei zwischenmenschlichen Konflikten zu einer Erhöhung der HR um 20 bis 30 bpm vom einen zum nächsten Herzschlag führen können (GOTTMAN 1993, zitiert in GOLEMAN 1995). Selbst geringe emotionale Reaktionen sind indirekt über die HR meßbar: Zeigt ein Ehepartner dem anderen mimisch seine Verachtung (Kontraktion des Grübchenmuskels, der die Mundwinkel nach außen zieht), erhöht sich in diesem wortlosen emotionalen Austausch beim anderen Partner die HR um 2 bis 3 bpm (GOTTMAN 1993, zitiert in GOLEMAN 1995).

An Tieren wurden ebenfalls die Auswirkungen psychogener Effekte auf die HR untersucht. So erhöhte sich bei Kühen, deren Kälber entfernt wurden, die HR in der ersten Minute signifikant von 81 bpm auf 96 bpm (HOPSTER et al. 1995). Pferde zeigen oft einen charakteristischen sogenannten 'Erwartungsanstieg' der HR unmittelbar vor einer bekannten Belastung, wie z.B. dem Training auf der Rennbahn oder dem Aufstieg des Reiters (BASSAN und OTT 1968, ASHEIM et al. 1970, KRZYWANEK et al. 1970, HALL et al. 1976, ART et al. 1990). MCCANN et al. (1988) fanden bei einjährigen Pferden einen Zusammenhang zwischen der HR und Verhaltensmustern, die mit emotionalen Zuständen verknüpft wurden (subjektive Einteilung in 'nervös' und 'normal'): die 'nervösen' Pferde hatten in der Testsituation (Rampe) gegenüber den 'normalen' Pferden eine signifikant erhöhte HR. WIEPKEMA (1990) beschreibt eine Untersuchung von BRUIN, der eine starke Korrelation zwischen HR und Laufgeschwindigkeit bei Pferden auf dem Laufband fand. Bei freundlicher Behandlung der Tiere verringerte sich die HR in dieser Situation.

Die HR steht in engem Zusammenhang mit der Verhaltensregulation: In bestimmten Gefahrensituation zeigen viele Tiere sogenanntes 'freezing'-Verhalten ('Erstarren'), welches mit einer starken Senkung der HR (Bradykardie) einhergeht. Die Bradykardie verhindert eine zu frühe Fluchtreaktion, bevor das Tier überhaupt entdeckt wird. Wird die Annäherung (z.B. eines Menschen) und damit die Gefahr einer Entdeckung zu groß, erhöht sich die HR drastisch

(Tachykardie) innerhalb weniger Sekunden, wodurch der Organismus auf die kurz darauf folgende Fluchtreaktion vorbereitet wird. Dieser Zusammenhang von HR und Verhalten wurde z.B. bei brütenden Schneehühnern (GABRIELSEN et al. 1977 u. 1985) oder Rothirschkitzen (ESPMARK und LANGVATN 1985) beobachtet.

Umgekehrt kann der Organismus auch die HR über das Verhalten regulieren. Schweine verringern ihre HR aktiv durch Stehenbleiben oder Hinlegen, wenn ihre HR 220 bpm bis 240 bpm übersteigt, wie dies MAYES und JESSE (1980) beim Treiben von Mastschweinen auf einem Viehmarkt beobachteten (HR-Werte bis 300 bpm!). Nach HAUSMANN (1934) liegt der kritische HR-Wert für Schweine bei 210 bpm, bei dem die diastolische Periode so kurz wird, daß die Kontraktion des Atriums beginnt, bevor die Systole des Ventrikels beendet ist. Bleibt dieser Zustand über mehrere Minuten bestehen, resultiert dies in einem reduzierten Blutfluß, was zu einer Erhöhung der Körpertemperatur führen kann (MAYES und JESSE 1980).

Die HR wird oft als Parameter zur Beurteilung der physischen Belastung eines Organismus verwendet. Insbesondere im Pferdesport wird die HR unter Belastung bei der Leistungskontrolle und zur Beurteilung von Trainingseffekten gemessen (SKARDA et al. 1976, FOREMAN et al. 1990, SEEHERMAN und MORRIS 1990, EVANS et al. 1993, ROSE et al. 1995, KÖSTER 1996). Schweine reagieren mit einer außergewöhnlichen Erhöhung der HR auf körperliche Belastungen. SCHAFFARTZIK et al. (1993) fanden bei Schweinen während einer kurzfristigen (6 bis 7 min) maximalen Belastung auf einem Laufband eine durchschnittliche maximale HR von 274 bpm! Diese Belastung führte bei den Versuchstieren zu einer signifikanten Erhöhung perivaskulärer Ödeme in den Pulmonararterien. Diese extreme Reaktion dürfte zum großen Teil darauf zurückzuführen sein, daß der Herz-Kreislaufapparat von Hausschweinen, bedingt durch die einseitige Selektion auf hohen Fleischzuwachs bei hochgezüchteten Schweinerassen, auf körperliche Belastungen nicht optimal reagieren kann (THIELSCHER 1987). Hausschweine sind daher besonders anfällig für irreversible Herzfunktionsstörungen, wie z.B. den plötzlichen Herztod (BERGMANN und REETZ 1982, SKINNER et al. 1983, THIELSCHER 1984, PARKER et al. 1987).

Bei der Beurteilung der Reaktion der HR auf interne Veränderungen oder externe Stimuli müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden, welche 'vom Organismus selbst' abhängig sind und welche die HR zum Teil stark beeinflussen können. Auf einige solcher Faktoren wurde bereits eingegangen (z.B. Trächtigkeit, Trainingszustand). Wichtige Faktoren sind zudem Verhalten, Individualität und interne Rhythmen (circadiane, ultradiane, saisonale Rhythmen). Auf diese Faktoren wird in der Diskussion (siehe 5.1.1 bis 5.1.3) ausführlich eingegangen, weshalb sie hier nur kurz angesprochen werden sollen.

Die Ausprägung der HR wird stark vom Verhalten beeinflusst, besonders von Verhaltensmustern, die mit der körperlichen Aktivität eines Organismus im Zusammenhang stehen (BALDOCK und SILBY 1990, DRESSEN et al. 1990, PRICE und SILBY 1993, HOPSTER et al. 1998). Der starke Einfluß der Individualität auf die HR (WILKINSON et al. 1972, KINDLON et al. 1995) steht in engem Zusammenhang mit den Faktoren Alter (GEHRING 1939, ZUGAIB et al. 1980, SCOTT et al. 1990, PALMISANO et al. 1991), Geschlecht (CLEMENT und BARREY 1995b,

WEINANDY und GATTERMANN 1997) und Gewicht (WEBSTER und JONES 1998). Immerhin fanden HAVLIK et al. (1980) bei 355 monozygoten und dizygoten menschlichen Zwillingen einen genetischen Einfluß auf die HR von 54 % bzw. 34 %.

Während circadiane (diurnale) Rhythmen der HR eng mit dem Aktivitätsrhythmus gekoppelt sind (EISERMANN 1988, GATTERMANN und WEINANDY 1997), können saisonale Unterschiede oft auf andere Einflüsse wie Trächtigkeit zurückgeführt werden (PRICE et al. 1993).

Dieser - unvollständige - Überblick über die internen und externen Faktoren, die einen Einfluß auf die HR haben können und die oft in Abhängigkeit zueinander stehen, verdeutlicht bereits die Komplexität der physiologischen Meßgröße HR, deren Veränderungen nur selten eindeutig auf eine einzelne Ursache zurückgeführt werden können. Diese Komplexität ist Vor- und Nachteil zugleich. Um die Aussagekraft von HR-Messungen besser beurteilen zu können, sollen zunächst einige grundsätzliche Steuerungsmechanismen angesprochen werden.

2.4 Steuerung des Herzschlags

Normalerweise geht der Anstoß zu einem Herzschlag vom Sinusknoten aus (ANTONI 1977), welcher als autonomer Taktgeber fungiert (FRANDSON 1986). Obwohl auch die übrigen Teile des Erregungsleitungs-Systems des Herzens (Atrioventricular(AV)-Knoten, His-Bündel, Tawara-Schenkel, Purkinje-Fäden, welche auch als heterotope Zentren zusammengefaßt werden) die Fähigkeit zur automatischen Erregungsbildung besitzen, ist der Sinusknoten (nomotopes Zentrum) der führende primäre Schrittmacher, weil er die höchste Entladungsfrequenz aufweist und die nachfolgenden Zentren erregt, bevor diese selbst eine Erregung auslösen (ANTONI 1977). In Abwesenheit jeglicher neuraler oder hormoneller Einflüsse erzeugt der Sinusknoten beim Menschen eine intrinsische Herzschlagrate zwischen 100 und 120 bpm (JOSE und COLLISON 1970, HAINSWORTH 1995). Diese intrinsische HR soll eine Konstante sein, welche mit dem Alter abnimmt und sich interindividuell unterscheidet (COUMEL et al. 1995).

Der Sinusknoten wird von parasymphatischen (Vagus) und sympathischen Nerven innerviert (AKSELROD 1995). Die beiden Vagusnerven innervieren den Sinusknoten (rechter Nerv dominant; HR senkend), den AV-Knoten (linker Nerv dominant; Verlängerung der atrioventriculären Überleitung) und den Vorhofmuskel, wobei eine efferente Kontrolle der Kammermuskulatur umstritten ist (ANTONI 1977, HAINSWORTH 1995). Eine Stimulation der Vagusnerven senkt in der Regel die HR, wobei der Einfluß des rechten Nerven größer als der des linken ist (LEVY und MARTIN 1979). Die postganglionären sympathischen Fasern innervieren das gesamte Herz nahezu gleichmäßig, inklusive Sinusknoten, heterotope Zentren und Vorhof- und Kammermyokard (ANTONI 1977, HAINSWORTH 1995). FURNIVAL et al. (1973) konnten zeigen, daß eine Stimulation der rechten Ansa subclavia (rechter sympathischer Nerv) einen größeren Einfluß auf die HR hat, während eine Stimulation der linken Ansa subclavia eher das Schlagvolumen des Herzens erhöht.

Schnelle Änderungen der HR sind immer parasymphatisch verursacht (ROSENBLUETH und SIMEONE 1936, FRITSCH et al. 1986, ECKBERG 1991, HAINSWORTH 1995). Der Sinusknoten reagiert auf eine Stimulation des Vagus fast unmittelbar innerhalb von ein bis zwei Herzschlä-

gen. Nach Beendigung der Vagusstimulation erreicht die HR in weniger als fünf Sekunden wieder ihren ursprünglichen Wert (HAINSWORTH 1995). Auf sympathische Stimulation reagiert das Herz dagegen deutlich langsamer, wobei eine Verzögerung von bis zu fünf Sekunden auftreten kann, bevor das Herz beeinflusst wird und die maximale Reaktion nach progressivem Anstieg erst nach 20 bis 30 Sekunden erreicht wird (HAINSWORTH 1995, MALLIANI 1995).

2.5 Aussagekraft der Herzschlagfrequenz

Im gesunden Individuum repräsentiert die HR zu jeder Zeit das Zusammenspiel von parasympathischer Aktivität, welche die HR senkt, und sympathischer Aktivität, welche die HR erhöht (HAINSWORTH 1995, KLEIGER et al. 1995). Während in Ruhe der Einfluß des Vagus auf die HR dominiert, nimmt sein Einfluß mit zunehmender körperlicher Aktivität ab, während der sympathische Einfluß zunimmt (HAINSWORTH 1995). Eine Erhöhung der HR über die durch den Sinusknoten erzeugte intrinsische Herzschlagrate wird generell durch die Erhöhung der sympathischen Aktivität hervorgerufen (HAINSWORTH 1995).

Allerdings lassen sich die separaten Einflüsse der beiden Antagonisten des autonomen Nervensystems auf die HR nicht durch simple Addition oder Subtraktion bestimmen (HAINSWORTH 1995). Es ist sehr schwierig die funktionale Charakteristik des autonomen Nervensystems mit 'simplen' HR-Messungen zu bestimmen, da Parasympathikus und Sympathikus die HR - wie unter 2.4 beschrieben - in unterschiedlicher Weise beeinflussen (KINDLON et al. 1995). Zudem können langsame Änderungen der HR nicht nur durch Änderungen in der sympathischen Aktivität hervorgerufen werden sondern auch durch Änderungen der parasympathischen Aktivität (ROSENBLUETH und SIMEONE 1936). Sympathische und parasympathische Aktivitäten interagieren kontinuierlich, sowohl auf zentralen und peripheren Ebenen, als auch im Bereich der prä- und postsynaptischen Erregungsübertragung (MALLIANI 1995). Eine Erhöhung der HR kann sowohl durch eine Verringerung der parasympathischen Aktivität, als auch durch eine Erhöhung der sympathischen Aktivität, oder, wie in den meisten Fällen, durch eine Kombination aus beiden Einflüssen hervorgerufen werden.

Das Zusammenspiel der beiden Antagonisten des autonomen Nervensystems bei der Modulation der HR ist allerdings sehr viel komplexer, als es hier dargestellt werden kann, wobei viele Bereiche noch ungeklärt sind. Die hier dargestellten Aspekte verdeutlichen aber bereits, daß die HR nur einen begrenzten Informationsgehalt über die Charakteristik der sympatho-vagalen Interaktion bietet (TULPPO et al. 1998).

Hinzu kommt, daß insbesondere in der angewandten Nutztierforschung in vielen Fällen die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen bezüglich der HR widersprüchlich oder zumindest nur sehr schwer miteinander vergleichbar sind. Als Grund hierfür wurden vor allem unterschiedliche methodische Ansätze diskutiert (BALDOCK et al. 1988, MANTECA und DEAG 1993).

Ein wichtiger und selten beachteter Nachteil der HR ist die Art der Meßgröße selbst. Da die HR eine reziproke Meßgröße ist, welche in Herzschlägen *pro* Zeiteinheit (min) gemessen wird,

verändert sich, bei gleicher absoluter Änderung der RR-Intervalle (s. Glossar), die HR unterschiedlich stark in Abhängigkeit von der Höhe der Ausgangs-HR bzw. -RR (HAINSWORTH 1995): Eine Erhöhung des RR-Intervalls um 333 ms führt beispielsweise zu einer Verringerung der HR um nur 30 bpm, wenn die Ausgangs-HR 90 bpm beträgt. Jedoch verringert sich die HR bei der gleichen Erhöhung des RR-Intervalls um das Dreifache (minus 90 bpm), wenn die Ausgangs-HR 180 bpm beträgt. Dieser Zusammenhang führt dazu, daß sich die HR mit zunehmender vagaler Stimulationsfrequenz nicht-linear (asymptotisch) verringert, während die Größe der RR-Intervalle linear zunimmt (PARKER et al. 1984). Im Bereich sehr niedriger HR-Werte sind demnach Unterschiede in der vagalen Aktivität mit der HR schwieriger zu quantifizieren, als im Bereich hoher HR-Werte. Da der Vagus vor allem beim ruhenden Organismus besonders aktiv ist, wenn auch die HR niedrig ist, erhält dieser Nachteil der HR eine besondere Bedeutung.

Möglicherweise liegt hier auch die Ursache dafür, daß die aus der Humanphysiologie bekannte Trainingsbradykardie (s. Glossar) beim Pferd nur schwer nachweisbar ist, da Pferde mit einer Ruhe-HR zwischen 15 und 44 bpm als ausgesprochene ‘Vagotoniker’ gelten (WITKE und BAYER 1968, RAEKALLIO 1992). Während einige Autoren eine Trainingsbradykardie bei Pferden fanden (MASLOBOJEV 1965, DUSEK 1967, MARSLAND 1968), konnte in anderen Arbeiten kein signifikanter Trainingseffekt auf die Ruhe-HR bei Pferden nachgewiesen werden (GEHRING 1939, CARDINET et al. 1963, WITKE und BAYER 1968, EHRLEIN et al. 1970 u. 1973, SKARDA et al. 1976, MILNE et al. 1977, BAYLY et al. 1983, ROSE et al. 1983). Immerhin wurde in einigen der letztgenannten Arbeiten eine tendenzielle Verringerung der Ruhe-HR im Verlauf des Trainings gefunden (SKARDA et al. 1976, BAYLY et al. 1983).

2.6 Herzschlagvariabilität

Außer der HR lassen sich aus telemetrischen Messungen noch weitere Parameter bestimmen, welche zum Phänomen der sogenannten Herzschlagvariabilität (HRV) gehören und von denen einige die Aktivität des autonomen Nervensystems sehr viel besser abbilden als die HR.

Die Aktivität eines gesunden Herzens ist durch unregelmäßige Intervalle zwischen aufeinanderfolgenden Herzschlägen (RR-Intervalle) gekennzeichnet (MOSS 1995). Diese Variabilität ist das Ergebnis der rhythmischen Oszillation der Steuerungskomponenten des Herzschlags (CERUTTI et al. 1995) und dient sowohl der Aufrechterhaltung der kardiovaskulären Homöostase innerhalb bestimmter Grenzen (AKSELROD 1995), als auch der optimalen Reaktion des Systems auf interne und externe Veränderungen (CERUTTI et al. 1995). Dieses Phänomen wird in der englischsprachigen Literatur ‘heart rate variability’ genannt, was in Ermangelung einer einheitlichen deutschen Bezeichnung hier mit Herzschlagvariabilität übersetzt wurde. Die Abkürzung HRV ist in der entsprechenden Fachliteratur allgemein anerkannt.

Die HRV entsteht in erster Linie durch die synergistische Aktivität der beiden Antagonisten des autonomen Nervensystems, dem Parasympathikus und dem Sympathikus (LEVY 1990, SAUL 1990, RUGH et al. 1992, FRIEDMAN und THAYER 1998b), die durch neuronale, humorale und andere physiologische Steuerungs- und Rückkopplungsmechanismen beeinflusst werden (RAVENSWAALJ-ARTS et al. 1993, CERUTTI et al. 1995). Das zentrale Nervensystem ist auf allen

Ebenen an der Regulation des kardiovaskulären Systems beteiligt, insbesondere die Formatio reticularis der Medulla oblongata (medulläre Kreislaufzentren), der Hypothalamus, sowie neocorticale und paläocorticale Areale (WITZLEB 1977, ANDREASSI 1980, MÖRIKE 1989). Trägt man die aufeinanderfolgenden RR-Intervalle über die Zeit auf, erhält man eine oszillierende Kurve (CERUTTI et al. 1995). Diese 'gemischte Schwingung' ist das Resultat der rhythmischen Oszillation der einzelnen Steuerungskomponenten, wobei die rhythmischen Aktivitätsänderungen des Parasympathikus (Vagus) eine höhere Frequenz haben, als die des Sympathikus (s. 2.4). Die Fluktuationen im Vagustonus sind mit Aktivitätsschwankungen der vagalen Nuclei verknüpft, welche durch Stimulation der Barorezeptoren beeinflusst werden, wobei die vagale Empfindlichkeit für den Barorezeptorinput sinudal mit dem Atmungszyklus variiert (ECKBERG 1991). Ein vereinfachtes Modell dieser Zusammenhänge ist in Abb. 2-1 dargestellt.

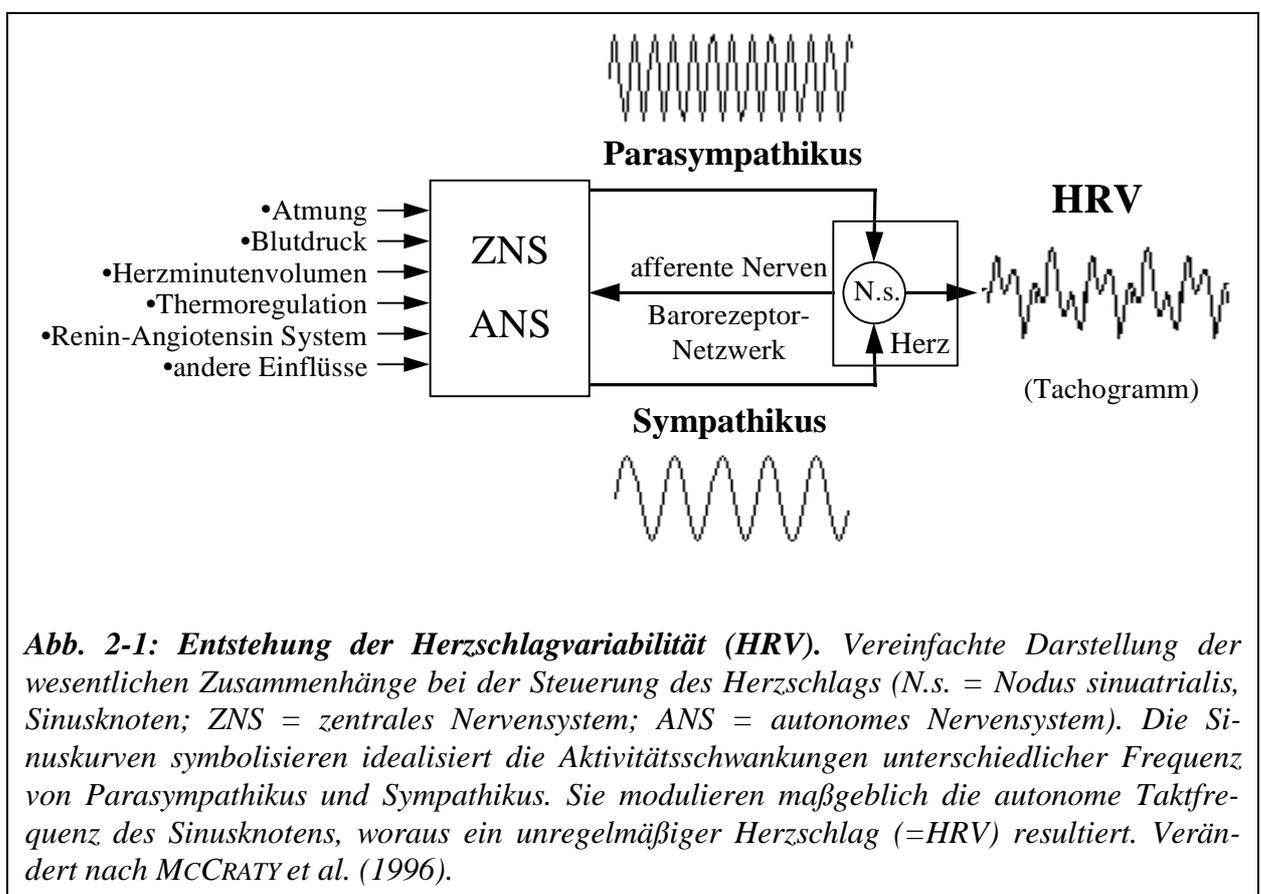


Abb. 2-1: Entstehung der Herzschlagvariabilität (HRV). Vereinfachte Darstellung der wesentlichen Zusammenhänge bei der Steuerung des Herzschlags (N.s. = Nodus sinuatrialis, Sinusknoten; ZNS = zentrales Nervensystem; ANS = autonomes Nervensystem). Die Sinuskurven symbolisieren idealisiert die Aktivitätsschwankungen unterschiedlicher Frequenz von Parasympathikus und Sympathikus. Sie modulieren maßgeblich die autonome Taktfrequenz des Sinusknotens, woraus ein unregelmäßiger Herzschlag (=HRV) resultiert. Verändert nach MCCRATY et al. (1996).

In dem Tachogramm eines ruhenden Hausschweins in Abb. 2-2 (S. 14) ist die für die HRV typische 'gemischte Schwingung' gut zu erkennen. Dabei können zwei Schwingungsanteile voneinander unterschieden werden (HIRSCH et al. 1995): die Kurzzeitvariabilität (engl.: short-term variability oder beat-to-beat variability) und die Langzeitvariabilität (engl.: long-term variability). Die Kurzzeitvariabilität reflektiert die schnellen Änderungen der HR innerhalb von ein bis zwei Herzschlägen, für die der Parasympathikus verantwortlich ist (s. 2.4). Sie kann mit verschiedenen HRV-Parametern aus unterschiedlichen Analyseverfahren sehr gut quanti-

fiziert werden (z.B. HF^1 , RMSSD, SD1; s. 2.8). Die Langzeitvariabilität läßt sich nur mit einer Frequenzanalyse (LF-Komponente²) quantifizieren. Sie wird sowohl vom Sympathikus als auch vom Parasympathikus beeinflusst, wobei das Verhältnis der Einflußstärke der beiden Antagonisten umstritten ist³ (s. 2.8).

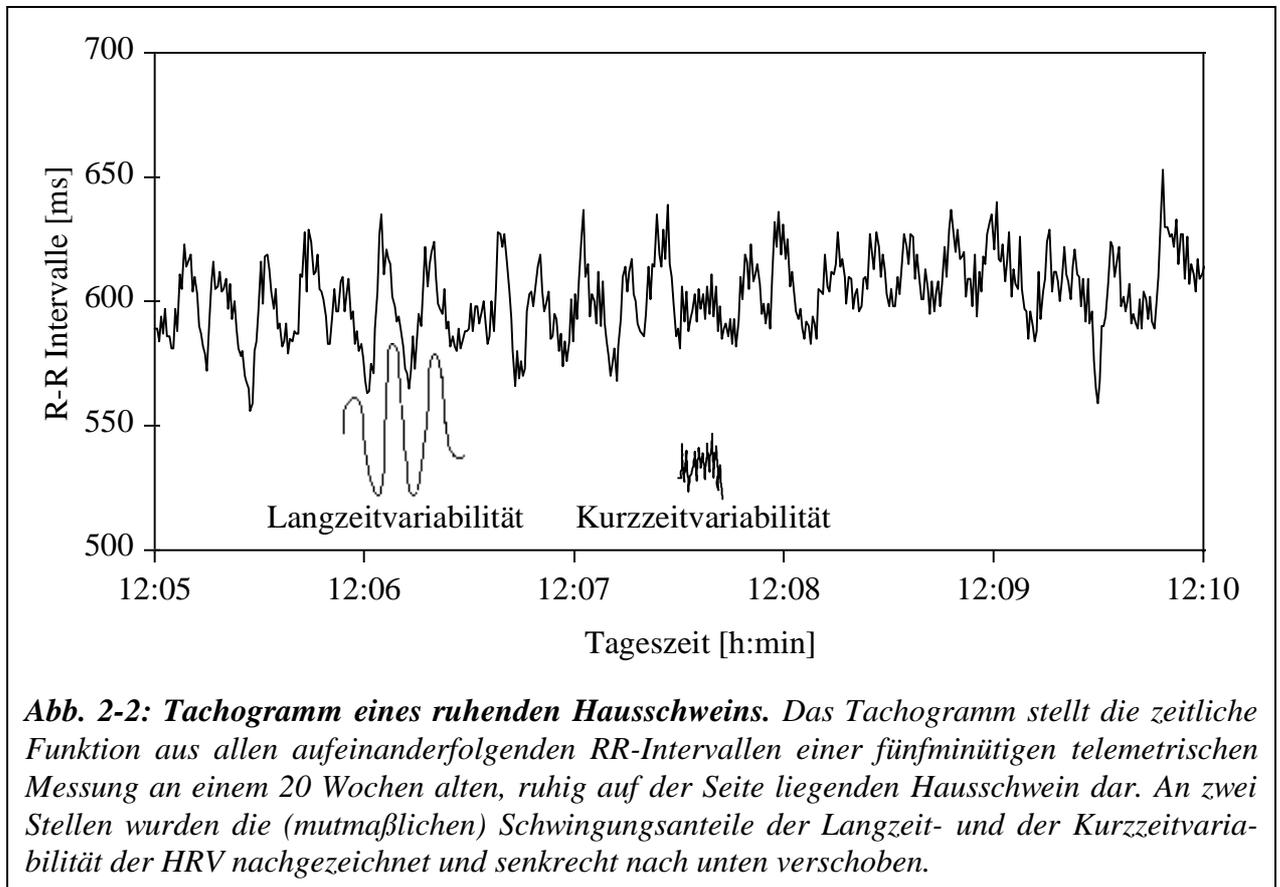


Abb. 2-2: Tachogramm eines ruhenden Hausschweins. Das Tachogramm stellt die zeitliche Funktion aus allen aufeinanderfolgenden RR-Intervallen einer fünfminütigen telemetrischen Messung an einem 20 Wochen alten, ruhig auf der Seite liegenden Hausschwein dar. An zwei Stellen wurden die (mutmaßlichen) Schwingungsanteile der Langzeit- und der Kurzzeitvariabilität der HRV nachgezeichnet und senkrecht nach unten verschoben.

Die HRV wurde bereits im 18. Jahrhundert von HALES (1733) dokumentiert, als er die ersten quantitativen Messungen des arteriellen Blutdrucks durchführte. Er fand den Zusammenhang zwischen Atemzyklus, Blutdruckwert und dem Intervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Herzschlägen. In der Humanmedizin werden HRV-Messungen z.B. bei physischen und psychischen Belastungstests oder zur Untersuchung kardiovaskulärer Erkrankungen bereits seit über

¹ Die parasympatisch dominierte HF-Komponente (s. 2.8 bzw. Glossar) liegt beim Menschen per Definition (TASK FORCE 1996) zwischen 0,15 Hz und 0,4 Hz (entspricht 45 bis 120 Schwingungen pro 5 min)

² Im Tachogramm der Abb. 2-2 hat die Langzeitvariabilität 24 gezählte Maxima (bzw. Schwingungen) in den dargestellten 5 Minuten. Dies entspricht einer Schwingungsfrequenz von 0,08 Hz. Diese Frequenz liegt im Bereich der LF-Komponente (s. 2.8 bzw. Glossar) im Powerspektrum einer Frequenzanalyse (s. 2.8), die für den Menschen zwischen 0,04 Hz (= 12 Schwingungen pro 5 min) und 0,15 Hz (= 45 Schwingungen pro 5 min) definiert ist (TASK FORCE 1996).

³ Ein (fast) alleiniger Einfluß des Sympathikus auf die LF, wie dies von einigen Autoren diskutiert wird (s. 2.8), ist zumindest beim ruhenden Organismus zweifelhaft. Auf eine sympathische Stimulation reagiert das Herz mit einigen Sekunden Verzögerung und einer maximalen Reaktion nach 20 bis 30 Sekunden (s. 2.4), d.h. eine rein sympathische Schwingung der HR würde umgerechnet etwa 0,02 Hz (0,016 - 0,025 Hz) betragen. Die LF ist aber im Bereich zwischen 0,04 und 0,15 Hz definiert (TASK FORCE 1996), d.h. sie wird auch von einer Steuerungskomponente mit höherer Frequenz beeinflusst (= Parasympathikus).

einem Vierteljahrhundert angewendet (MALIK und CAMM 1995). Im Gegensatz zu der mittlerweile kaum noch überschaubaren Menge an Publikationen, in denen die HRV am Menschen untersucht wurde (Übersicht z.B. in: FALLEN et al. 1988, MALIK und CAMM 1990, ORI et al. 1992, RAVENSWAARIJ-ARTS et al. 1993), sind die wenigen Studien an Tieren meist im Bereich der Grundlagenforschung anzusiedeln: Als Versuchstiere dienten hier Katzen (BAUST 1974, RAETZ et al. 1991), Hunde (AKSELROD et al. 1981, PAGANI et al. 1986, HEDMAN et al. 1995, LITTLE und JULU 1995), Schafe (ZUGAIB et al. 1980, METSÄLÄ et al. 1991), Schweine (COHEN et al. 1991, GOOTMAN et al. 1991, ZWIENER et al. 1996, TUINGA et al. 1996), Pferde (CLEMENT und BARRY 1995a+b, KUWAHARA et al. 1996), Ratten (TRONCOSO et al. 1995), Kaninchen (ZWIENER et al. 1995) und sogar Krabben (GRIBBLE und BROOM 1996).

In der angewandten Nutztierforschung wurden HRV-Messungen bisher kaum eingesetzt. So wurde die Veränderung der HRV bei Pferden unter Trainingsbelastung (z.B. Laufband) gemessen (RUGH et al. 1992, THAYER et al. 1997) oder die Wirkung von 48 Stunden Fasten auf die HRV von Rindern untersucht (CLABOUGH und SWANSON 1989). Die Auswirkung von sozialem Stress auf die HRV wurde an Schweinen (JONG et al. 1998b) und Ratten (SCOIFO et al. 1997) untersucht, wobei hier insbesondere die unmittelbaren, kurzfristigen Effekte im Vordergrund standen.

2.7 Vorteile der HRV gegenüber der HR

Die Messung der HRV ermöglicht prinzipiell eine genauere Annäherung an die funktionale Charakteristik des autonomen Nervensystems, als dies mit HR-Messungen möglich wäre (siehe 2.5 und 2.6). Die HRV ist insbesondere bei der objektiven und nicht-invasiven Quantifizierung des Status des autonomen Nervensystems als Reaktion auf psychologische Einflüsse geeignet, sowohl unter stationären Bedingungen, als auch bei der Reaktion auf standardisierte externe Stimuli (CERUTTI et al. 1995). Emotionen können sich in der sympatho-vagalen Balance ausprägen, ohne daß dies zu Veränderungen von HR und Atmung führt (TILLER et al. 1996).

So fanden SLEIGH und HENDERSON (1995) zwar keinen Zusammenhang zwischen der HR und präoperativer Angst, aber einen Anstieg der relativen Intensität in der HF-Komponente im Powerspektrum (repräsentiert parasympathische Aktivität, siehe 2.8), der positiv mit präoperativer Angst korrelierte.

MCCRATY et al. (1995) fanden einen signifikanten Anstieg der HRV in Zusammenhang mit Wohlfühl, insbesondere in den parasympathisch empfindlichen Frequenzbereichen des Powerspektrums, wohingegen sie keinen Effekt auf die HR nachweisen konnten.

Auch CATIPOVIC-VESELICA et al. (1999) konnten Zusammenhänge zwischen verschiedenen 'basalen' Emotionen und der HRV feststellen, fanden aber keine signifikanten Zusammenhänge mit der HR.

PORGES et al. (1996) verglichen HR und HRV von 9 Monate alten Kindern mit dem sozialen Verhalten, welches diese Kinder mit 3 Jahren zeigten. Sie fanden signifikante negative Korrelationen zwischen Vagustonus (basale Werte bzw. Stärke der Veränderung) und Verhaltensproblemen, Kontaktschwierigkeiten, Aggressivität, Depressionen und Schlafproblemen

(Kategorisierung nach ACHENBACH et al. 1987). Dagegen fanden sie keine Signifikanzen bei Korrelationen mit der HR (basale Werte bzw. Stärke der Veränderung).

In mehreren Untersuchungen wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen einer niedrigen Ruhe-HR und einer erhöhten Aggressivität bei Kindern und Jugendlichen nachgewiesen (KINDLON et al. 1995, MEZZACAPPA et al. 1996, RAINE et al. 1997, GOOZEN et al. 1998). Man könnte annehmen, daß diese niedrige Ruhe-HR durch eine erhöhte basale parasympathische Aktivität hervorgerufen wird (s. 2.5). MEZZACAPPA et al. fanden bei Jugendlichen mit erhöhtem aggressivem (1996) bzw. antisozialem Verhalten (1997) ebenfalls eine niedrige Ruhe-HR (ca. - 10 bpm zur Kontrolle). Die Autoren untersuchten aber zudem die HRV und fanden Ruhewerte für die HF-Komponente im Powerspektrum (s. 2.8), die im Mittel weniger als ein Viertel der Werte der 'normalen' Kontrollgruppen betragen. Aufgrund der engen Kopplung zwischen HF-Komponente und Vagustonus (s. 2.8) muß dieses Ergebnis auf eine deutlich verringerte parasympathische Aktivität zurückgeführt werden. Hieran wird die unter 2.5 angesprochene Problematik bei der Bestimmung der funktionalen Charakteristik des autonomen Nervensystems mittels HR-Messungen deutlich.

Die in diesem Abschnitt zitierten Arbeiten wurden zwar alle am Menschen durchgeführt, die Schlußfolgerungen bezüglich HR und HRV sollten aber im Prinzip zumindest auf Säugetiere übertragbar sein, wofür folgende Argumente sprechen: (1) Das phylogenetisch 'alte' limbische System gilt als neuronales Substrat der Emotionen (JÄNIG 1977). (2) Durch elektrische Reizungen im Bereich des Hypothalamus oder des limbischen Systems sind im Tierexperiment Verhaltensweisen künstlich ausgelöst worden, die den emotional gefärbten Verhaltensweisen eines Menschen vergleichbar sind (MÖRIKE 1989). (3) Die innere Wirkung einer Emotion wird über das vegetative Nervensystem vermittelt (MÖRIKE 1989). (4) Bei allen Säugetieren liegt die gleiche funktionale Steuerung des Vagustonus zugrunde (PORGES 1995a).

2.8 Analyseverfahren der HRV

In der Literatur findet man eine Vielzahl unterschiedlicher Analyseverfahren, mit denen man aus den aufeinanderfolgenden RR-Intervallen einer telemetrischen Messung verschiedene HRV-Parameter berechnen kann, die den Einfluß der Steuerungskomponenten an der HRV in unterschiedlicher Qualität abbilden (TASK FORCE 1996). Die gebräuchlichsten Verfahren sind Zeitanalysen (Übersicht in: KLEIGER et al. 1995) und Spektralanalysen (Übersicht in: CERUTTI et al. 1995). Verwendet werden außerdem geometrische Analysen (Übersicht in: MALIK 1995b) und nicht-lineare Methoden (Übersicht in: SCHMIDT und MORFILL 1995).

Der parasympathische Einfluß auf den Herzschlag läßt sich mit den meisten Verfahren sehr gut abbilden. Der wesentliche Grund dafür ist, daß alle schnellen Änderungen der HR innerhalb von ein bis zwei Herzschlägen - wie bereits erwähnt (siehe 2.4) - immer parasympathisch verursacht werden (ROSENBLUETH und SIMEONE 1936, FRITSCH et al. 1986, ECKBERG 1991, HAINSWORTH 1995). Die Ausprägung (engl.: power) der HF-Komponente (s. Glossar) im Powerspektrum einer Spektralanalyse wird mit Ausnahme sehr geringer Atemfrequenzen nur

durch vagale (cholinerge) Aktivität beeinflusst (FRIEDMAN und THAYER 1998b). Die HF-Komponente ist allgemein als Index für den Herzvagus tonus akzeptiert (AKSELROD et al. 1981, MALIK und CAMM 1990, SAUL 1990, MALLIANI et al. 1991, RAVENSWAARIJ-ARTS et al. 1993, STEIN et al. 1994, AKSELROD 1995, TASK FORCE 1996, FRIEDMAN und THAYER 1998b). Beim Vergleich von Basiswerten auf individueller Ebene, ermöglicht die HF-Komponente eine Quantifizierung der vagalen (parasympathischen) Aktivität (AKSELROD 1995). Der HRV-Parameter RMSSD (s. Glossar) aus Zeitanalysen reflektiert ebenfalls hauptsächlich die parasympathische Aktivität (KAUTZNER und HNATKOVA 1995, KLEIGER et al. 1995) und korreliert signifikant mit der HF-Komponente (KLEIGER et al. 1991, BIGGER et al. 1992). Eine signifikante Korrelation besteht auch bei ruhenden Personen zwischen dem HRV-Parameter SD1 aus der quantitativen Lorenzplot Analyse und der HF-Komponente (HUIKURI et al. 1996, TULPPO et al. 1996a+b). Diese Methode wurde in dieser Studie zur Analyse der HRV verwendet; sie wird unter 2.10 genauer beschrieben.

Der sympathische Einfluß auf die HRV ist sehr viel schwieriger zu quantifizieren. Obwohl einige Autoren die LF-Komponente (s. Glossar) im Powerspektrum als HRV-Parameter für die sympathische Aktivität favorisieren (MALLIANI et al. 1991, KAMATH und FALLEN 1993, MALLIANI 1995), gehen andere Autoren davon aus, daß die LF-Komponente auch vom Vagus tonus beeinflusst wird und eine Quantifizierung der sympathischen Aktivität über die LF-Komponente zumindest fraglich ist (AKSELROD et al. 1981, KOH et al. 1994, CERRUTI et al. 1995, JOKKEL et al. 1995, AKSELROD 1995, TASK FORCE 1996). Neue Untersuchungen mittels autonomer Blockade bei Miniaturschweinen zeigten, daß das parasympathische System sowohl die HF- als auch die LF-Komponente beeinflusst, während das sympathische System nur die LF-Komponente beeinflusst (KUWAHARA et al. 1999). Auch andere Analyseverfahren bieten keinen HRV-Parameter, der ausschließlich durch den Sympathikus beeinflusst wird.

2.9 Der Vagus tonus als Belastungsparameter

Auf den ersten Blick scheint es von Nachteil zu sein, daß die Aktivität des Sympathikus mit der Messung der HRV nicht eindeutig zu quantifizieren ist, da der Sympathikus seit CANNON (1929) oft im Mittelpunkt von Streßuntersuchungen steht. Sowohl physische (körperliche Anstrengung) als auch psychische (z.B. mentale Belastung beim Lösen mathematischer Aufgaben) Beanspruchungen führen zu einer Erhöhung der sympathischen Aktivität (ANDREASSI 1980, MALLIANI et al. 1991).

Andererseits gibt es Hinweise, daß der Vagus tonus für die Bewertung von Streß und Streßempfindlichkeit besser geeignet ist (PORGES 1995b): In PORGES' Streßkonzept wird Homöostase als ein autonomer Zustand definiert, der die viszerale Funktionen fördert. Dieser Zustand wird durch eine hohe parasympathische Aktivität reflektiert. Streß wird hier als ein autonomer Zustand definiert, der durch eine Störung der Homöostase und eine verringerte parasympathische Aktivität gekennzeichnet ist. Damit kann die Stärke einer Streßreaktion auf einem physiologischen Level quantifiziert werden. Zudem sollte der basale autonome Zustand vor einer Belastung ein Index für die Streßempfindlichkeit eines Individuums sein, d.h. ein Organismus

mit niedrigem parasympathischen Tonus ist durch eine erhöhte Streßempfindlichkeit gekennzeichnet.

Ein hoher Vagustonus, respektive eine hohe HRV, ist mit einer effizienteren autonomen Kontrolle verknüpft, wodurch eine erhöhte Sensitivität und Reaktivität des Organismus auf Veränderungen in der Umwelt gewährleistet ist (PORGES et al. 1996, FRIEDMAN und THAYER 1998b, THAYER et al. 1997). So ist z.B. ein hoher Vagustonus bei Neugeborenen mit größeren mentalen, motorischen und sozialen Fähigkeiten im Alter von drei Jahren verknüpft (DOUSSARD-ROOSEVELT et al. 1997). FOX (1989) fand bei fünfmonatigen Säuglingen mit hohem Vagustonus eine größere Reaktivität auf positive und negative Stimuli. Im Alter von 14 Monaten zeigten diese Kinder weniger Angst vor fremden Personen.

Positive Emotionen können zu einer signifikanten Erhöhung der HF-Komponente (bildet Vagustonus ab, siehe 2.8) im Powerspektrum führen (MCCRATY et al. 1995, TILLER et al. 1996). FRIEDMAN und THAYER (1998a) verglichen die HRV (Zeit- und Frequenzanalysen) von Patienten mit Panikattacken bzw. Blutphobien mit der von normalen Probanden: Panikpatienten zeigten einen geringeren Vagustonus als Patienten mit Blutphobien, während normale Probanden den höchsten Vagustonus hatten (jeweils signifikante Unterschiede in den HRV-Parametern, deren Ausprägung vom Vagustonus bestimmt wird).

Ein weiterer Aspekt ist die Regulationfähigkeit des Vagustonus: PORGES et al. (1996) fanden bei Kleinkindern, welche im Alter von neun Monaten während eines Aufmerksamkeitstests eine stärkere Veränderung (= Senkung) des Vagustonus zeigten, signifikant weniger Verhaltensprobleme mit drei Jahren.

Der Vagustonus kann also als Anzeiger für die physiologische und psychologische Flexibilität eines Organismus angesehen werden (FRIEDMAN und THAYER 1998a).

2.10 Quantitative Lorenzplot-Analyse

In dieser Studie wurde zur Analyse der HRV eine quantitative zweidimensionale Vektoranalyse auf der Grundlage eines sogenannten Lorenzplots verwendet. In der Literatur wird der Lorenzplot oft als Poincaré-Plot oder Streudiagramm (engl.: scattergram) bezeichnet. In der mathematischen Terminologie wird dieses Schema auch 'return map' genannt und zur Analyse dynamischer Prozesse vor allem in den physikalischen Wissenschaften angewendet (KAMEN und TONKIN 1995). Der Lorenzplot ist die graphische Darstellung aller RR-Intervalle eines Zeitraumes als Funktion des jeweils vorangegangenen RR-Intervalls (siehe Abb. 2-3, S. 19).

Die Verwendung von Lorenzplots zur Analyse der HRV ist ein vergleichsweise neues Verfahren. Eine qualitative Methode bei der Auswertung von Lorenzplots besteht in der Typisierung der Streuform (z.B. in Fächer-, Torpedo- und Kometenform) und dem Vergleich der Formentypen mit verschiedenen kardiologischen Krankheitsbildern (WOO et al. 1992 u. 1994, KAMEN und TONKIN 1995, MALIK 1995b, TULPPO et al. 1998). Zudem existieren verschiedene quantitative Verfahren, mit denen Lorenzplots ausgewertet werden können (RAETZ et al. 1991, HNATKOVA et al. 1995, COPIE et al. 1996, HUIKURI et al. 1996, KAMEN et al. 1996, TULPPO et

al. 1996b, MÄKIKALLIO et al. 1997). Dabei wird bei den meisten Verfahren ein quantitatives Maß für die Streuung der Punkte im Lorenzplot verwendet.

In Abb. 2-3 ist der Lorenzplot der RR-Intervalle aus einer fünfminütigen telemetrischen Messung von einem ruhig auf der Seite liegenden Hausschwein dargestellt: Die Form der Streuung ist typisch für einen ruhenden Organismus, sowohl beim Schwein, wie auch beim Menschen: Die Streuung der Punkte um die 45°-Diagonale (Winkelhalbierende) wird mit zunehmender Länge der RR-Intervalle größer; mit anderen Worten: bei niedriger Herzfrequenz (= große RR-Werte) wird der Herzschlag unregelmäßiger. Liegt ein Punkt unterhalb der 45°-Diagonalen, ist das entsprechende RR-Intervall (RR_n) im Vergleich zu dem folgenden RR-Intervall (RR_{n+1}) länger, liegt ein Punkt oberhalb ist das Verhältnis umgekehrt ($RR_n < RR_{n+1}$). Dabei ist die Streuweite (Streuung der Punkte senkrecht zur 45°-Diagonalen) ein Maß für die sogenannte Kurzzeitvariabilität (engl.: short term variability, s. 2.6) der HRV, welche die Schwankung direkt aufeinanderfolgender RR-Intervalle wiedergibt. Mit anderen Worten: Um so regelmäßiger der Rhythmus des Herzschlags ist, desto näher liegen die Punkte an der 45°-Diagonalen. Dagegen ist die Länge der Punktewolke ein Maß für die sogenannte Langzeitvariabilität (engl.: long term variability, s. 2.6) der HRV, welche die Schwankung aller RR-Intervalle über den gesamten Zeitraum wiedergibt.

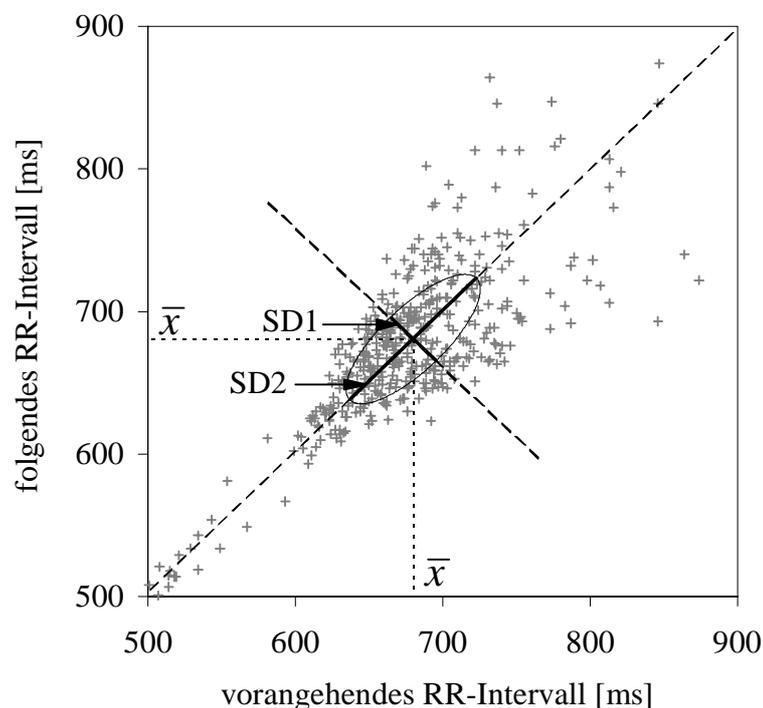


Abb. 2-3: Lorenzplot mit den HRV-Parametern SD1 und SD2. Aus einer fünfminütigen telemetrischen Messung bei einem ruhenden Schwein wurde jedes RR-Intervall gegen das jeweils folgende RR-Intervall aufgetragen. Der Schnittpunkt der beiden Diagonalen ergibt sich aus dem Mittelwert aller RR-Intervalle. $\bar{x} = 677$ ms bzw. 88,6 bpm, SD1 = 25,6 ms, SD2 = 71,0 ms. Nähere Erläuterungen im Text

KAMEN et al. (1996) maßen die Streuweite beim Menschen an 20 gesunden Probanden zwischen 20 und 40 Jahren nach Applikation von Atropin (hemmt parasympathische Aktivität) bzw. Scopolamin (erhöht parasympathische Aktivität). Im Vergleich zur Kontrollmessung (ohne wirksame Applikation) verringerte sich die Streuweite von 48,9 ms nach Atropin-Applikation signifikant auf 7,1 ms, während Scopolamin zu einer signifikanten Erhöhung auf 79,3 ms führte. Zudem korrelierte die Streuweite signifikant mit der HF-Komponente aus der Spektralanalyse ($r = 0,99$, $p < 0,01$). Diese Ergebnisse zeigen deutlich, daß die Streuweite des Lorenzplots einen quantifizierbaren Maßstab für die Aktivität des parasympathischen Nervensystems darstellt.

Mit dem in dieser Studie verwendeten Analyseprogramm (Polar HR Analyse Programm 5.04.01, Polar Electro Oy, Finnland) können zwei HRV-Parameter berechnet werden:

1. die SD1 (engl.: standard deviation of instantaneous beat-to-beat RR-interval variability), welche in Ruhe in hohem Maß mit der Aktivität des Parasympathikus korreliert (KAMEN et al. 1996, TULPPO et al. 1996b), und
2. die SD2 (engl.: standard deviation of continuous long-term RR-interval variability), welche eher die Gesamtaktivität aller an der Steuerung des Herzschlags beteiligten Komponenten abbildet (TULPPO et al. 1996b).

Das Analyseprogramm bestimmt zunächst den Mittelwert aller RR-Intervalle (\bar{x} in Abb. 2-3, S. 19) des zu analysierenden Zeitraums. An dem Punkt $\{\bar{x}, \bar{x}\}$ wird senkrecht zur 45°-Diagonalen (Achse 1) eine weitere Achse (Achse 2) gelegt. Die quantitative Analyse erfolgt anhand der Streuung der Punkte um die Achse 1 für den Parameter SD1 bzw. um die Achse 2 für den Parameter SD2. Der programminterne Algorithmus dreht für die SD1 den Lorenzplot um 45° im Uhrzeigersinn, so daß die Achse 1 deckungsgleich mit der horizontalen (x-) Achse ist. Die SD1 entspricht der Standardabweichung der neuen Ordinaten-Werte. Für die SD2 wird der Lorenzplot um 45° im Gegenuhrzeigersinn gedreht und so verschoben, daß die Achse 2 deckungsgleich mit der horizontalen (x-) Achse ist. Die Standardabweichung dieser neuen Ordinatenwerte entspricht dem Parameter SD2. Eine gute Beschreibung des Verfahrens befindet sich auch bei TULPPO et al. (1996b).

Die Aktivität des Sympathikus läßt sich mit dieser Methode leider nicht quantitativ abbilden. Da aber eine saubere Abbildung des Sympathikustonus selbst mit Spektralanalysen noch umstritten ist (siehe 2.8), wurde in dieser Studie, vor allem wegen des geringeren Anspruchs an die Datenqualität (TULPPO et al. 1996b), die quantitative Lorenz-Plot Analyse verwendet.

3 Material und Methoden

3.1 Tiere und allgemeine Haltungsbedingungen

3.1.1 Tiere

Die Experimente dieser Studie wurden an insgesamt 24 Hausschweinen (*Sus scrofa domestica*) durchgeführt:

Kreuzung: PI x F1 ; F1 = DL x DE¹

Geschlecht: männlich, kastriert (Börge); wg. Minimierung geschlechtsspezifischer Einflüsse

Zuchtbetrieb: Quellendorfer und Zehbitzer Agrar Ags GbR, D-06386 Quellendorf; Transportentfernung Zuchtbetrieb - Versuchsstall (s. 3.1.2): 27 km

Aufstallungsalter: 11. Lebenswoche (LW, s. Glossar)

Aufstallungsgewicht: 27,7 ± 0,4 kg (Median und Standardfehler des Medians der 24 Tiere; Einzelgewichte s. Tab. A-15, Anh. XV)

Experimentelle Aufteilung der Tiere (zwei Durchgänge A u. B):

A) 16 Schweine als Versuchstiere im Haltungsexperiment (LW20 bis LW25, ab LW22 in Gruppenhaltung) und für die Erprobung des HGET-Versuchsdesigns (LW26 bis LW29); Tag der Aufstallung: 18.01.1996 (in Einzelhaltung).

B) 8 Schweine als Kontrolltiere im Haltungsexperiment (LW20 bis LW25, nur Einzelhaltung) und als Versuchstiere im HGET (LW26 und LW27); Tag der Aufstallung: 04.11.1996 (in Einzelhaltung)

Vita der Tiere: Die Haltung im Zuchtbetrieb erfolgte im Mutterwurf und in Läufergruppen. Von der 14. bis 16. Lebenswoche befanden sich die Tiere vor beiden Durchgängen in einem anderen Experiment, welches mit dieser Studie in keinem Zusammenhang stand. Die mit diesem ernährungsphysiologischen Experiment verbundene Belastung der Tiere (verschiedene Futterrestriktionen, insgesamt 12 subkutane Injektionen von Cholecystokinin (CCK), Antagonist und NaCl) wurde als gering und nicht nachhaltig eingestuft. Sollte trotz Erholungsphase von 3 Wochen dennoch eine Nachwirkung dieses Experiments vorhanden gewesen sein, so wäre der Einfluß auf die Experimente dieser Studie nur von untergeordneter Bedeutung gewesen, da die Behandlung für alle Tiere vergleichbar war.

3.1.2 Standort des Versuchsstalls

Naturwissenschaftliches Zentrum Merbitz
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Landwirtschaftliche Fakultät
Institut für Tierzucht und Tierhaltung mit Tierklinik
D-06193 Nauendorf / Ortsteil Merbitz

3.1.3. Versuchsstall

In Abb. 3-1 (S. 22) ist der Versuchsstall im Längs- und Querschnitt mit den für die Experimente wichtigen Einrichtungsgegenständen dargestellt.

¹ PI = Pietrain, DL = Deutsche Landrasse, DE = Deutsches Edelschwein, erste Nennung Vatertier

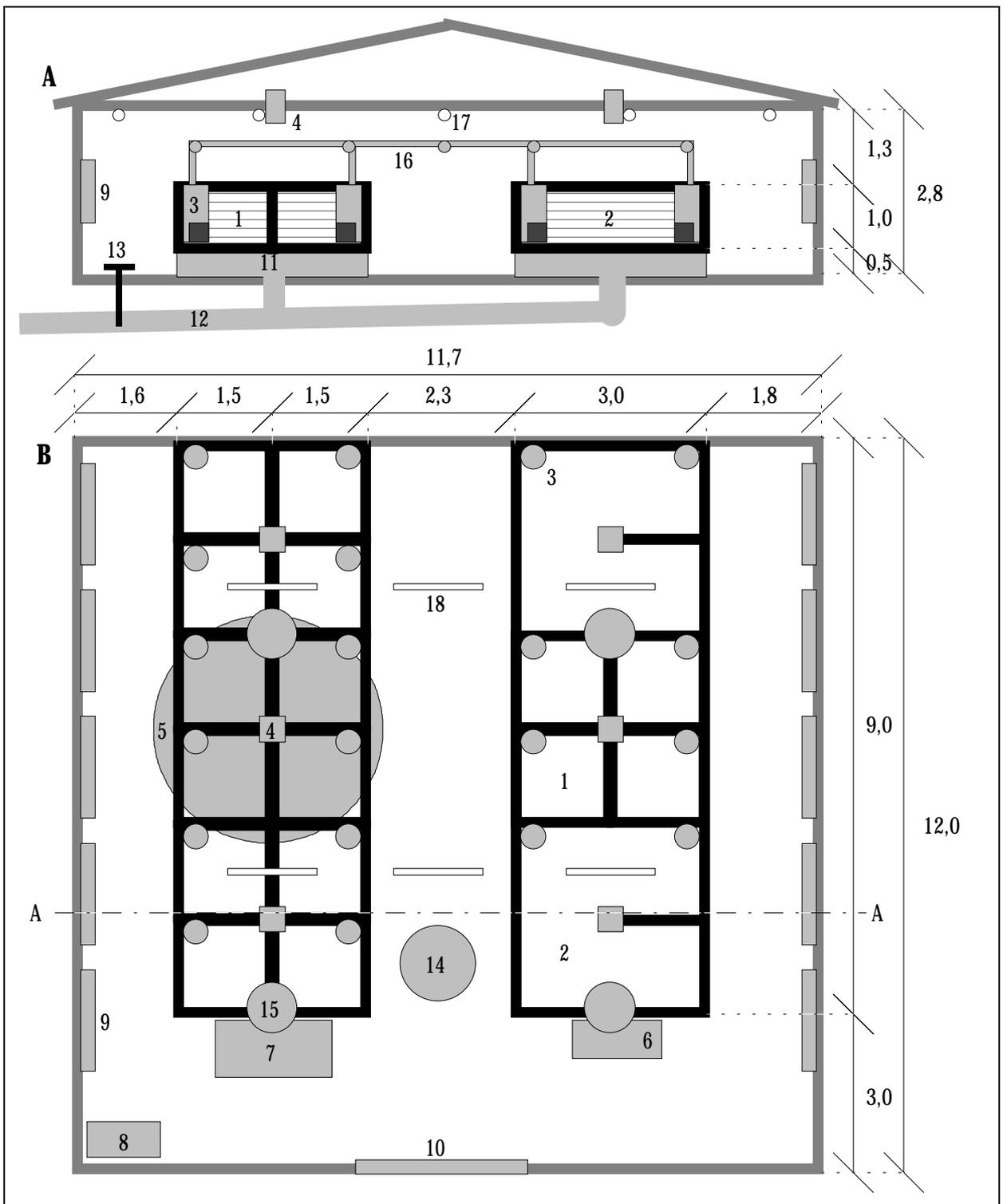


Abb. 3-1: Versuchsstall. Längsschnitt (A) und Querschnitt (B). Darstellung linke Buchtenreihe: Grundzustand, nur Einzelbuchten. Darstellung rechte Buchtenreihe: Nach Umbau in der 22. Lebenswoche der Versuchstiere im Haltungsexperiment (galt spiegelbildlich auch für linke Buchtenreihe). Legende: 1: Einzelbucht (1,5 x 1,5 m), 2: Gruppenbucht (3 x 3 m), 3: Breifutterautomat, 4: Weitwinkel-Videokamera, 5: Aufnahmeradius der Kamera, 6: Transportwagen, 7: elektronische Waage, 8: Videorecorder, 9: Heizkörper, 10: Stalltür, 11: Güllewanne, 12: Abfluß, 13: Schieber, 14: Abluftventilator, 15: Umluftventilator, 16: Trinkwasserleitung, 17: Leuchtstoffröhren, längs (durchgehend, nur in A), 18: Leuchtstoffröhren, quer (nur in B). Mehrfach vorhandene Einrichtungsgegenstände (in der Zeichnung jeweils gleiche Form und Größe) wurden in jeder Ansicht nur einmal numeriert. Maße in m.

Die Darstellung der linken Buchtenreihe in der Abb. 3-1 (S. 22) zeigt den Grundzustand (nur Einzelbuchten) zum Zeitpunkt der Aufstallung der Tiere in der 11. Lebenswoche; diese Anordnung der Buchten war für die rechte Buchtenreihe entsprechend. Die Darstellung der rechten Buchtenreihe in der Abb. 3-1 (S. 22) zeigt den Zustand nach dem Umbau für die Versuchstiere im Haltungsexperiment ab der 22. Lebenswoche (zwei Gruppen- und vier Einzelbuchten); diese Anordnung der Buchten war für die linke Buchtenreihe ab dann entsprechend.

3.1.4 Buchtenbelegung

Der Versuchsstall (s. Abb. 3-1, S. 22) war bei beiden Durchgängen (Durchgang A: 16 Versuchstiere, März/April 1996, und Durchgang B: 8 Kontrolltiere, Januar/Februar 1997, s. 3.1.1; Grund für die Trennung der Durchgänge s. 3.4) immer komplett mit 24 Tieren belegt (s. Abb. 3-2). Dadurch waren in beiden Durchgängen vergleichbare Rahmenbedingungen für die Tiere gegeben, z.B. in den externen Faktoren 'allgemeiner Geräuschpegel' oder 'Emissionsbelastung durch Güllemenge'.

Durchgang A (1996)				Durchgang B (1997)			
53	37	35	54	61	72	73	84
52	39	38	48	62	91	79	83
42	40	47	36	63	70	75	90
34	32	50	49	64	69	76	81
<u>33</u>	<u>43</u>	<u>31</u>	<u>44</u>	65	68	77	82
<u>41</u>	<u>45</u>	<u>51</u>	<u>46</u>	66	67	78	74

Abb. 3-2: Buchtenbelegung. Ohrmarkennummern der Tiere (Fett: In dieser Studie verwendete Tiere). Durchgang A: Versuchstiere im Haltungsexperiment. Für die Gruppierung ab 22. Lebenswoche wurden die Trennwände benachbarter Tiere entfernt (gestrichelte Linien). Untere Gruppen mit Beschäftigungsobjekten (unterstrichen). Durchgang B: Kontrolltiere im Haltungsexperiment und Versuchstiere im Groomingexperiment.

3.1.5 Haltungsumwelt

Die Buchten (Nr.1 bzw. Nr.2 in Abb. 3-1, S. 22) bestanden aus einem Komponentensystem aus Kunststoff (GROBA-Futtersysteme, 49811 Lingen/Bramsche, Deutschland) mit Wänden aus horizontalen Kunststoffholmen (Breite: 8 cm, Abstand: 6 cm) und Kunststoffspaltenboden (Auftrittsbreite: 7,5 cm, Spaltenweite: 1,3 cm). Der Abstand der horizontalen Kunststoffholme in den Trennwänden erlaubte den jeweils benachbarten Tieren lediglich Nasal-Kontakte.

Die Größe der Buchten betrug in Einzelhaltung ca. 1,5 m mal 1,5 m und in Gruppenhaltung ca. 3,0 m mal 3,0 m. Dies entsprach jeweils einer Bodenfläche von 2,25 m² pro Tier (Die Verordnung zum Schutz von Schweinen bei Stallhaltung, Schweinehaltungsverordnung (Neufassung), Bundesgesetzblatt 1994, Teil I, S. 313, § 6, Absatz 1 schreibt eine uneingeschränkt nutzbare Mindestbodenfläche 1,00 m² pro Tier bei einem Durchschnittsgewicht von 110 bis 150 kg

vor). Die Buchten standen auf Güllewannen (Nr.11 in Abb. 3-1, S. 22), die durch Öffnen eines Schiebers (Nr.13 in Abb. 3-1, S. 22) über einen Abfluß (Nr.12 in Abb. 3-1, S. 22) in ein außerhalb des Stalles gelegenes Sammelbecken regelmäßig entleert wurden.

Den Tieren stand Futter und Wasser über einen (Gruppenhaltung: zwei) Breifutterautomat(en) (VM 30/1000-E, GROBA-Futtersysteme, D-49811 Lingen/Brämsche; Nr.3 in Abb. 3-1, S. 22) ad libitum zur Verfügung. Als Futter diente Vollmastmehl (DEUKA, D-40010 Düsseldorf) mit normalem Nährwert bzw. Energiegehalt: ME (umsetzbare Energie) = 12,60 MJ, Rohprotein = 16,50 %, Lysin = 0,85 %, Rohfaser = 5,50 %, Calcium = 0,90 %, Phosphor = 0,60 %, Natrium = 0,14 %, Vitamin E = 50,00 mg/kg, Leistungsförderer vorhanden (ohne detaillierte Angaben). Der Hersteller macht keine genauen Angaben zur Schrotzusammensetzung .

Die Stallbelüftung (Leistung: 7200 m³ pro Stunde) erfolgte über vier Umluftventilatoren (Nr.15 in Abb. 3-1, S. 22) und einen Abluftventilator (Nr.14 in Abb. 3-1, S. 22).

Die Stalltemperatur wurde über ein thermostatgeregeltes Heizungssystem (Nr.9 in Abb. 3-1, S. 22) auf konstant 16 °C gehalten.

Der Licht-Dunkel-Zyklus (Lichtphase: 6:00 h bis 18:00 h) im fensterlosen Versuchsstall wurde über eine Zeitschaltuhr mit Kunstlicht (Leuchtstoffröhren, Nr.17 in Abb. 3-1, S. 22) gesteuert.

Die Lichtintensität betrug für die Tiere im Schnitt 72 Lux (Schwankungsbreite: 39 bis 98 Lux).

3.1.6 Außereperimentelle Tier-Betreuer-Kontakte

Täglich um 8:00 Uhr erfolgte ein Kontrollgang durch einen Mitarbeiter, bei dem die einwandfreie Funktion der Breifutterautomaten und der Futterverbrauch kontrolliert wurden. Bei Bedarf wurde Futterschrot in die Vorratsbehälter der Breifutterautomaten nachgefüllt.

Visuelle Gesundheitskontrollen der Tiere auf äußere Verletzungen und Verhaltensabnormalitäten erfolgten täglich während des Kontrollgangs, sowie beim Anlegen der Meß- und Schutzgurte bzw. beim Starten der Empfängereinheiten im Rahmen der Datenaufnahme (s. 3.2).

Die Wägung der Tiere erfolgte ab Aufstallung jeweils mittwochs zwischen 9:00 und 11:00 Uhr. Sie waren daran gewöhnt in einen Transportwagen (Nr.6 in Abb. 3-1, S. 22) zu gehen, mit dem sie auf eine elektronische Waage (GPV-A2 2T.0, FERDI-Technik GmbH, 17379 Ferdinands-hof, Deutschland; Meßgenauigkeit = 200 g; Nr.7 in Abb. 3-1, S. 22) gefahren und mittels Tara-Funktion direkt gewogen wurden. Der ganze Vorgang dauerte mit zwei Personen pro Tier nur wenige Minuten.

Eine Grundreinigung der Buchten mit dem Wasserschlauch erfolgte jeweils im Anschluß an die letzte Datenaufnahme einer Woche.

Ab der 17. Lebenswoche der Tiere bis zum Schlachttag wurde darauf geachtet, daß der Versuchsstall möglichst nur vom Experimentator und einem Mitarbeiter (s.o.) betreten wurde (diese Regelung wurde weitgehend eingehalten).

3.2 Datenaufnahme

Die telemetrische Messung der RR-Intervalle (s. Glossar) des Herzschlags der Tiere erfolgte mit nicht-invasiven Meßgeräten (Polar Vantage NV, POLAR ELECTRO OY, 90440 Kempele, Finnland), bestehend aus (1) einem Elektrodengurt mit Sender zur kodierten telemetrischen Datenübertragung (was in dieser Studie die gleichzeitige Datenaufnahme bei 8 Tieren ermög-

lichte) und (2) einer Empfangseinheit zur Speicherung von bis zu 4000 aufeinanderfolgenden RR-Intervallen (entspricht einer Aufnahmedauer von 40 min bei einer durchschnittlichen HR von 100 bpm).

Um die Meßgeräte vor Manipulationen durch andere Schweine zu schützen, wurden der Elektrodengurt und die Empfangseinheit durch eigens angefertigte Stretch-Gurte (modifizierte Nierengurte für Motorradfahrer) geschützt. Alle Tiere wurden über einen Zeitraum von 3 Wochen (LW17 bis LW19) durch tägliches tragen der Elektroden- und Schutzgurte an die Meßgeräte gewöhnt. Bereits vor Beginn der experimentellen Datenaufnahme (LW20) wurden keine aversiven Verhaltensreaktionen der Tiere auf die Gurte mehr beobachtet (teilweise mußten die Gurte sogar an liegenden Tieren angelegt werden!). Die Plazierung des Elektrodengurts am Schwein erfolgte mit der Elektrodenplatte auf der linken Körperseite wenige Zentimeter hinter den Vorderbeinen, wobei die optimale Plazierung individuell etwas schwankte (die Ableitungsqualität wurde mit der Empfangseinheit überprüft). Die Elektroden wurden vor dem Anlegen des Gurtes mit Elektrodengel bestrichen, um deren Leitfähigkeit zu erhöhen und einen besseren Kontakt zwischen Haut und Elektrode herzustellen. Meß- und Schutzgurte blieben während der gesamten Meßperiode eines Tages am Tier (bis zu 5 Stunden, s. Abb. 3-5, S. 30).

Die telemetrischen Messungen wurden normalerweise nach 50 min. abgebrochen, wobei die Speicherkapazität der Empfangseinheiten (s.o.) teilweise vorher abgelaufen war. Dann wurden die telemetrischen Daten von den Empfangseinheiten über ein Interface (POLAR ELECTRO OY, 90440 Kempele, Finnland) auf ein Laptop (TravelMate 4000 M, TEXAS INSTRUMENTS, Dallas, TX 75265, USA) mittels entsprechender Software (Polar Analysis Software 5.04, POLAR ELECTRO OY, 90440 Kempele, Finnland) übertragen und gespeichert. Dieser Vorgang dauerte für die 8 parallel verwendeten Meßgeräte ca. 50 min., wodurch nach Löschung des Empfängerspeichers nach 55 min. eine neue Meßreihe durchgeführt werden konnte. Um in der Auswertung (s. 3.3) eine sekundengenaue Kopplung der telemetrischen Daten mit dem Verhalten der Tiere zu ermöglichen, wurde beim Start der Empfangseinheiten ein deutliches Handzeichen in Richtung Videokamera (s.u.) gegeben. Der Startvorgang dauerte für alle 8 Empfangseinheiten i.d.R. nicht länger als 4 min. Anschließend verließ der Experimentator den Stall bis zum Abbruch der telemetrischen Messungen nach 50 min (s.o.).

Parallel zu den telemetrischen Messungen wurde das Verhalten der Schweine mit Videoaufnahmen dokumentiert. Zur Unterscheidung der Tiere in Gruppenhaltung wurden sie mit Viehspray individuell markiert (0, 1, 2 oder 3 Querstreifen über Rücken und Seiten), wodurch die Tiere in jeder Körperposition individuell unterscheidbar waren. Die Videokameras (1/62"-CCD-Farbkamera EV-C 1245, PANASONIC Deutschland GmbH, D-22525 Hamburg; Nr.4 in Abb. 3-1, S. 22) waren mit einem Weitwinkelobjektiv (Brennweite 3,5 mm, Blende 1:1,4, Lichtempfindlichkeit 3,5 Lux) ausgestattet. Jede von 6 Kameras war in der Mitte von jeweils vier Einzelbuchten bzw. einer Gruppenbucht in ca. 2,3 m Höhe angebracht (s. Abb. 3-1, S. 22), wobei der Aufnahmeradius (Nr.5 in Abb. 3-1, S. 22) die vier Einzelbuchten bzw. eine Gruppenbucht komplett abdeckte. Die Videoaufnahmen erfolgten auf für jede Kamera vorhandenen

Videorecordern (NV-ND 700 EG, PANASONIC Deutschland GmbH, D-22525 Hamburg; Nr.8 in Abb. 3-1, S. 22).

3.3 Datenbearbeitung

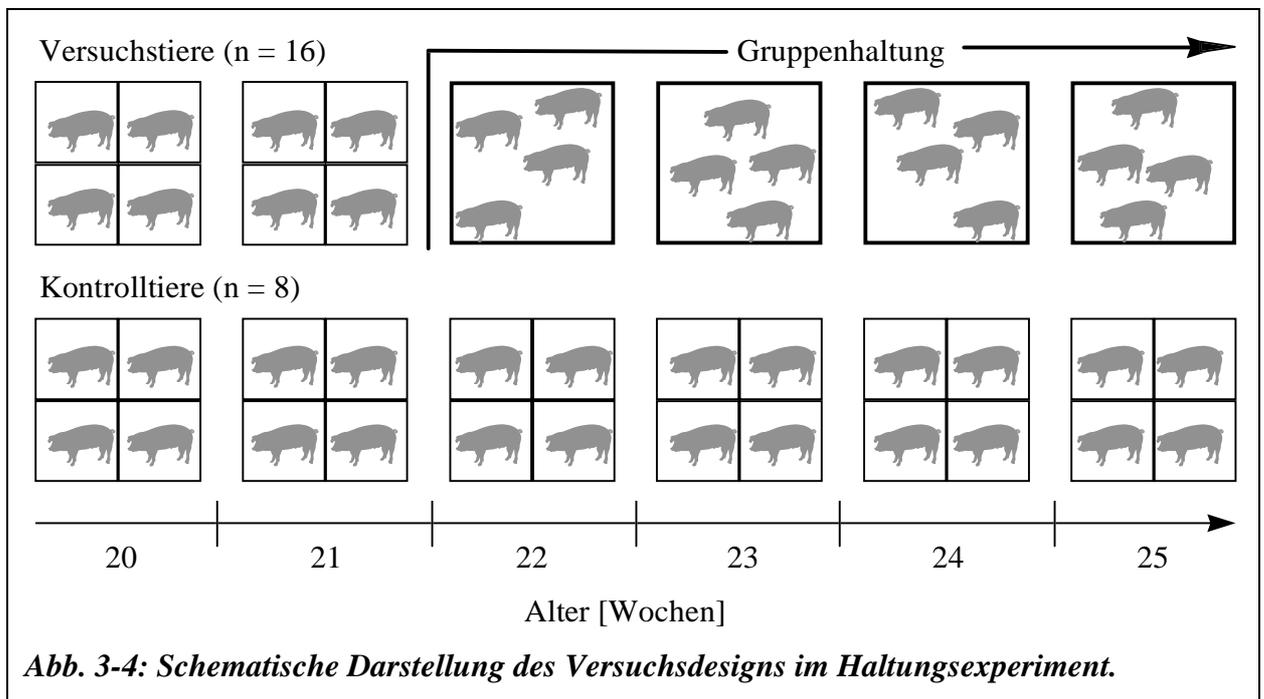
Zunächst wurden soweit wie möglich alle Meßartefakte in den Meßdaten korrigiert. Das hier verwendete Analyse-Programm (Polar Analysis Software 5.04, POLAR ELECTRO OY, 90440 Kempele, Finnland) beinhaltet einen Korrektur-Algorithmus, mit dem ein Großteil der Artefakte (z.B. ectopic beats, s. 5.1.5) halbautomatisch korrigiert werden konnten. Artefakte, die vom Korrektur-Algorithmus nicht erkannt wurden, wurden nach visueller Kontrolle mit einem Schreibprogramm (Write in Microsoft Windows für Workgroups 3.11, MICROSOFT Corporation) manuell korrigiert (s. 5.1.5).

Der Datenfluß jeder Messung wurde dann in 5-min-Intervalle zerlegt. Um einen möglichen Einfluß der Startbedingungen zu minimieren, wurden die ersten beide 5-min-Intervalle für die Berechnung der Wochenmediane im Haltungsexperiment nicht verwendet. Im ersten 5-min-Intervall war ein direkter Einfluß auf die Herzschlagparameter zu erwarten gewesen, da der Versuchsleiter zu Beginn der Messung noch in der Bucht war, weil immer vier Empfangseinheiten in einer Vierergruppe nacheinander gestartet wurden, was aber normalerweise nicht länger als 2 min. dauerte. Im zweiten 5-min-Intervall wurde bei der Auswertung der kurzfristigen Effekte des HGET im Grooming-Experiment noch ein leichter Einfluß durch die Startbedingung festgestellt: Die Kontrollwerte der HR und der SD1 unterschieden sich signifikant von den nachfolgenden 5-min-Intervallen, während zwischen den Intervallen ab der 10. Minute keine signifikanten Unterschiede mehr nachweisbar waren (s. Abb. 4-5, S. 50; p-Werte in Tab. A-8, Anh. VI). Für die Untersuchung der langfristigen Effekte im Grooming-Experiment wurde das zweite 5-min-Intervall trotzdem verwendet, da ansonsten die Anzahl valider (s.u.) 5-min-Intervalle für die Berechnung der Wochenmediane zu gering gewesen wäre. Eine zu kleine Stichprobe wurde als stärkerer Effekt bewertet, als der beschriebene Einfluß der Startbedingung, der zudem alle verglichenen Stichproben gleichermaßen betraf.

Um den lokomotorischen Einfluß auf die Parameter zu minimieren, wurden nur jene 'validen' Intervalle berücksichtigt, in denen die Tiere ruhig auf der Seite lagen (Videokontrolle). Für diese Intervalle wurden die Parameter HR, SD1 und SD2 mittels Polar Analysis Software 5.04 s.o.) bestimmt¹. Für jedes Tier wurde aus den Parameterwerten aller validen Intervalle einer

¹ Die HRV-Parameter SD1 und SD2 wurden mittels quantitativer Lorenzplot Analyse berechnet (s. 2.10). Die HR wurde aus dem Mittelwert aller RR-Intervalle eines 5-min-Intervalls berechnet ($HR = 60.000 / RR\text{-Mittelwert}$). Streng genommen wäre die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse mittels RR-Intervallen statt der HR die korrekte Variante, da grundsätzlich jede Umrechnung der originalen Meßdaten vermieden werden sollte, es sei denn, durch die Umrechnung ergibt sich eine neue Information, wie dies z.B. bei der SD1 der Fall ist. Die HR hat aber gegenüber der „RR“ keine wirklich neue Information, vielmehr geht durch die reziproke Umrechnung ein Teil der Information „verloren“ (s. 2.5). Neuere Publikationen im Bereich der Humanmedizin ersetzen mittlerweile immer öfter die HR durch die RR. Dennoch wurden die Ergebnisse aus den gemessenen RR-Werten hier als HR-Werte dargestellt. Da in der angewandten Nutztierforschung immer noch fast ausschließlich die HR verwendet wird und die HR zudem ein 'allgemein bekannter' Parameter ist, wurde hier der größere 'Bekanntheitsgrad' der HR als Informationsvorteil gegenüber der RR gewertet.

der entfernt (mit einem ‘Puffer’ von insgesamt acht einzeln gehaltenen Schweinen, die nicht am Versuch teilnahmen, s. Abb. 3-2, S. 23), um eine Beeinflussung der Tiere ohne Objekte durch die Objektmanipulationen der Tiere mit Objekten zu minimieren.



Die experimentelle Datenaufnahme erfolgte in zwei zeitlich getrennten Durchgängen (s. 3.1):

- Durchgang A (März/April 1996): Versuchstiere (n = 16)
- Durchgang B (Januar/Februar 1997): Kontrolltiere (n = 8)

Die zeitliche Trennung der beiden Durchgänge war notwendig, um mögliche akustische, optische und olfaktorische Beeinflussungen der Kontrolltiere durch die Versuchstiere zu verhindern: es mußte damit gerechnet werden, daß sich durch die Gruppierung der Versuchstiere eine Veränderung der ‘Stallumwelt’ ergab, z.B. ein erhöhter Geräuschpegel aufgrund sozialer Interaktionen oder durch die Beschäftigung mit den Manipulationsobjekten. Durch die zeitliche Trennung der Durchgänge war es zwar a priori unmöglich, hundertprozentig gleiche äußere Bedingungen in beiden Durchgängen zu gewährleisten. Da aber die äußeren Rahmenbedingungen relativ konstant gehalten wurden (geschlossener Versuchsstall mit automatischer Licht- und Temperaturregelung (s. 3.1), vergleichbare Emissionsbelastung und vergleichbarer Geräuschpegel durch gleiche Gesamtzahl an Tieren im Stall (s. Abb. 3-2, S. 23), etc.), wurde der Einfluß auf die telemetrischen Daten durch nicht hundertprozentig gleiche Rahmenbedingungen geringer eingeschätzt, als der beschriebene experimentell bedingte Einfluß.

Um eine ausreichend große Datenmenge zu erhalten, wurden pro Tag drei telemetrische Messungen zu folgenden Tageszeiten durchgeführt:

M1: 11:00 - 11:50 Uhr

M2: 12:45 - 13:35 Uhr

M3: 14:30 - 15:20 Uhr.

Die Meßzeiten waren so gewählt, daß die telemetrischen Messungen zu Zeiten erfolgten, in denen die Schweine gewöhnlich ruhten. Bei keinem der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 wurden signifikante Unterschiede zwischen den drei Meßzeiten gefunden (s. 4.2.2; alle p-Werte $\geq ,10$; s. Tab. A-1, Anh. I). Daher konnten die Daten aus den Meßzeiten M1, M2 und M3 für die Berechnung der Wochenmediane zusammengefaßt werden.

Es standen 8 nicht-invasive telemetrische Meßgeräte mit Schutzgurten zur Verfügung (s. 3.2). Aufgrund der kodierten telemetrischen Datenübertragung vom Sender des Elektrodengurts zur Empfangseinheit konnten in dieser Studie bei 8 Tieren parallel telemetrische Daten erfaßt werden. Bei jedem Tier wurden pro Woche 6 (Versuchstiere) bzw. 9 (Kontrolltiere) telemetrische Messungen mit einer Dauer von jeweils 50 Minuten durchgeführt (Tab. 3-1). Die größere Anzahl telemetrischer Messungen pro Woche bei den Kontrolltieren stand in Zusammenhang mit der Untersuchung der langfristigen Effekte im Groomingexperiment (s. 3.5 bzw. 4.3.3): hierfür wurde eine ausreichend große Zahl valider 5-min-Intervalle der Intervalle 5-10 und 10-15 [min ab Start] benötigt (s. 3.3).

Tab. 3-1: Wochenzeitplan der telemetrischen Meßzeiten. Die Reihenfolge von Vo und Vm wurde im Wochenwechsel ausgetauscht (Gesamtdauer 6 Wochen: LW20 bis LW25). Meßzeiten: M1: 11:00 - 11:50 Uhr, M2: 12:45 - 13:35 Uhr, M3: 14:30 - 15:20 Uhr.

Durchgang A (März/April 1996): 16 Versuchstiere (Vo = ohne und Vm = mit zusätzlichen Manipulationsmöglichkeiten in Gruppenhaltung ab LW22, vorher Einzelhaltung);

Durchgang B (Januar/Februar 1997): 8 Kontrolltiere (K), durchgängig in Einzelhaltung.

Wochentag	1. Durchgang (Versuchstiere)			2. Durchgang (Kontrolltiere)		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Montag	Vm	Vo	Vm	K	K	K
Dienstag	Vo	Vm	Vo	K	K	K
Mittwoch	(Wiegen)			(Wiegen)		
Donnerstag	Vm	Vo	Vm	K	K	K
Freitag	Vo	Vm	Vo	(keine Messungen)		

Da die ersten beiden 5-min-Intervalle jeder Messung im Haltungsexperiment verworfen wurden (s. 3.3), standen je Lebenswoche theoretisch maximal 48 (Versuchstiere) bzw. 72 (Kontrolltiere) valide 5-min-Intervalle für die Berechnung des Wochenmedians zur Verfügung. Die realen Maxima lagen jedoch erwartungsgemäß unter den theoretischen: maximales valides $n = 43$ (Tier Nr.35 in LW24) bei den Versuchstieren bzw. $n = 63$ (Tier Nr.77 in LW24) bei den Kontrolltieren (s. Tab. A-2, Anh. II).

Da im Haltungsexperiment die langfristige Auswirkung der Gruppierung auf die kardiologischen Parameter HR, SD1 und SD2 untersucht wurde, erfolgte die Auswertung auf der Grundlage der individuellen Wochenmediane aus allen validen 5-min-Intervallen je Woche und Tier. Es wurden sowohl die absoluten Wochenmediane, als auch die Veränderung der Wochenmediane zur jeweiligen Vorwoche auf zwei Ebenen statistisch verglichen: (1) Vergleich der beiden Stichproben der Versuchs- und Kontrolltiere und (2) Vergleich der Lebenswochen innerhalb einer Stichprobe (s. 3.6).

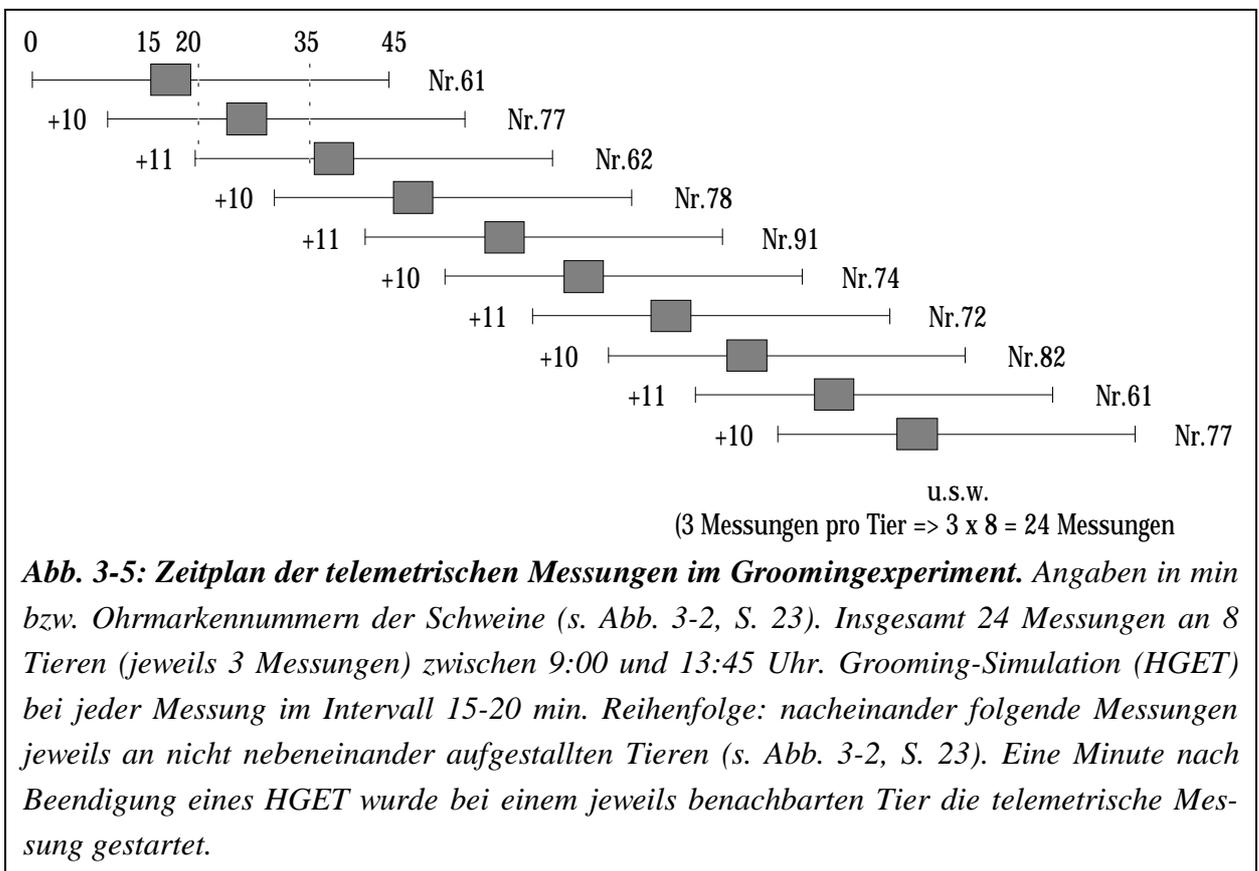
3.5 Versuchsdesign - Groomingexperiment

In diesem Experiment wurden 8 Schweine (s. 3.1.1; Tiere Nr.61, 62, 72, 74, 77, 78, 82, 91; Kontrollgruppe aus Haltungsexperiment; s. 3.4) in der 26. und 27. Lebenswoche jeweils 3 mal pro Tag (4 Tage pro Woche: Montag bis Donnerstag) jeweils für 5 min durch einen Experimentator im Bauch- und Kopfbereich mit den Fingern ‘massiert’. Diese Grooming-Simulation (HGET: (engl.) Human Groom Encounter Test) sollte ‘natürliches’ soziales Grooming imitieren, bei dem ein Schwein mit der Rüsselscheibe systematisch die Körperoberfläche eines anderen Schweins abtastet und Fremdkörper mit der Schnauze entfernt (s. 5.3.2).

Die Grooming-Simulationen wurden in diesem Experiment nur an bereits liegenden Tieren durchgeführt. Auch für den Vergleich des HGET mit der Vor- und Nachphase wurden nur 5-min-Intervalle verwendet, in denen die Tiere ruhig auf der Seite lagen.

Die Gewöhnung an die Grooming-Simulation erfolgte bei allen Tieren vor dem Haltungsexperiment zwischen LW17 und LW19 im Rahmen der Gewöhnung an die Elektroden- und Schutzgurte (s. 3.2 u. 5.3.1).

Das in Abb. 3-5 dargestellte Versuchsdesign wurde im Anschluß an den Durchgang A des Haltungsexperiments an 8 ehemaligen Versuchstieren (Nr.31, 33, 41, 43, 44, 45, 46, 51; s. Abb. 3-2, S. 23) zwischen LW26 und LW29 entwickelt. In dieser Testphase wurden auch Grooming-Simulationen von 10 min Dauer getestet, die jedoch oft zu lang bemessen waren, da viele Tiere die Grooming-Simulation durch Aufstehen von sich aus abbrechen.



Der Zeitplan war so gestaltet, daß mehrere Bedingungen erfüllt waren:

- Es sollten möglichst viele telemetrische Messungen (wg. großem n) in möglichst kurzer Zeit (wg. Minimierung tageszeitlicher Effekte) erfolgen. Eine große Zahl an Messungen pro Tier war notwendig, da die ‘Teilnahme’ am HGET für die Tiere ‘freiwillig’ war (wenn die Tiere zum Zeitpunkt des geplanten HGETs nicht lagen (i.d.R. fraßen sie dann), fand kein HGET statt; wenn die Tiere im HGET aufstanden, wurde der HGET abgebrochen).
- Zwischen den Grooming-Simulationen durch den Experimentator mußte ausreichend Zeit vorhanden sein, damit der Experimentator die telemetrischen Daten abspeichern und die Speicher der Empfangseinheiten für die nächste Messung löschen konnte.
- Um Beeinflussungen durch die sich zeitlich überlappenden telemetrischen Messungen zu vermeiden, durfte während Vorphase, HGET und Nachphase (wurde bis zur 35. Minute ausgewertet; s. 4.3.2) einer telemetrischen Messung kein HGET bei einem direkt benachbarten Schwein durchgeführt werden (vergleiche Abb. 3-2: Buchtenbelegung, S. 23).

Der Zeitplan ermöglichte die komplette experimentelle Durchführung (Grooming-Simulationen und Abspeichern der telemetrischen Daten) durch einen einzigen Experimentator, wodurch eine Beeinflussung der Tiere durch den sogenannten ‘Experimentator-Effekt’ (s. 5.1.4) auf ein Minimum begrenzt werden konnte.

Im Groomingexperiment wurden sowohl die *kurzfristigen*, als auch die *langfristigen* Effekte regelmäßiger Grooming-Simulationen auf die kardiologischen Parameter HR, SD1 und SD2 untersucht.

Als Datengrundlage für die Untersuchung der unmittelbaren *kurzfristigen* Effekte diente die relative Abweichung vom 10-15-min-Intervall nach Beginn einer telemetrischen Messung (HGET im 15-20-min-Intervall). Die Verwendung relativer Werte erfolgte, da Versuchs- und Kontrollmessungen aus verschiedenen Lebenswochen der untersuchten Tiere stammten. Als Kontrollmessungen dienten die telemetrischen Daten, die im Rahmen des Haltungsexperiments (s. 3.4) bei den Tieren gemessen wurden (LW20 bis LW25). Der statistische Datenvergleich erfolgte auf zwei Ebenen: (1) Vergleich jeweils gleicher Intervalle zwischen Versuchs- und Kontrollmessungen und (2) Vergleich der verschiedenen Intervalle innerhalb der Stichproben von Versuchs- bzw. Kontrollmessungen (s. 3.6).

Als Datengrundlage für die Untersuchung der *langfristigen* Effekte dienten die individuellen Wochenmediane aller validen Intervalle 5-10 und 10-15 [in min. ab Meßbeginn] der 8 Schweine in den Lebenswochen LW20 bis LW27 (die Daten aus LW20 bis LW25 stammten aus den im Rahmen des Haltungsexperiments (s. 3.4) an den Kontrolltieren durchgeführten Messungen). Die verwendeten 5-min-Intervalle der telemetrischen Messungen konnten bezüglich kurzfristiger Effekte als vom HGET unbeeinflusste Messungen betrachtet werden, da der HGET in LW26 und LW27 immer im darauf folgenden Intervall 15-20 durchgeführt wurde. Es wurden sowohl die absoluten Wochenmediane, als auch die Veränderung der Wochenmediane zur jeweiligen Vorwoche statistisch verglichen (s. 3.6).

3.6 Statische Methoden

Als Maß für den Zentralwert der Werte der Parameter HR, SD1 und SD2 aller validen 5-min-Intervallen einer Woche wurde in dieser Studie der Median verwendet (s. 3.3), obwohl in vielen Publikationen sehr gerne mit dem Mittelwert gearbeitet wird, der strenggenommen nur bei normalverteilten Daten benutzt werden darf. Nach SACHS (1997) sind Beispiele für angenähert normalverteilte Daten aber eher selten, was insbesondere in der Biologie gilt. SACHS bemerkt weiter: „Die Normalverteilung gilt höchstens angenähert: auch nach dem zentralen Grenzwertsatz kann man nur in gewissen Fällen eine ungefähre Normalverteilung erwarten und die Erfahrung mit großen Stichproben von Meßdaten hoher Qualität zeigt häufig deutliche Abweichungen von der Normalverteilung in dem Sinne, daß beide Verteilungsenden stärker besetzt sind“.

Der Median ist im Gegensatz zum Mittelwert robust, d.h. unempfindlich gegenüber Abweichungen von der angenommenen Modellvoraussetzung der Normalverteilung (LAMPRECHT 1992, SACHS 1997). Nach SACHS (1997) ist der Median angebracht bei

1. wenigen Beobachtungen (hier: kleinste Stichprobengröße $n = 6$; i.d.R. $n = 8$ bzw. 16),
2. nicht-symmetrischen Verteilungen (hier: HR und SD1 nicht normalverteilt¹),
3. Verdacht auf Ausreißer (hier: Tier Nr.35, s. 4.2.4),
4. ordinalskalierten Daten (hier: nicht relevant),
5. Verteilungen mit offenen Endklassen (hier: muß angenommen werden, da z.T. zeitabhängige Veränderungen der Parameterwerte gefunden wurden, s. 4.2.4 u. 5.2.1).

Als Streuungsmaße für den Median (\tilde{x}) wurden (1) der Standardfehler des Medians und (2) die Median-Deviation berechnet (nach SACHS 1997):

(1) Standardfehler des Medians:

$$S_{\tilde{x}} = (a - b) / 3,4641$$

(2) Median-Deviation:

$$\tilde{D} = \text{Median} \{ |x_i - \tilde{x}| \}$$

In den im Ergebnisteil dargestellten Diagrammen, Tabellen und im Text wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit immer der Median mit dem Standardfehler des Medians angegeben. In den dazugehörigen Tabellen im Anhang (Datengrundlage) wurden neben Median und Standardfehler des Medians auch die Median-Deviation mit angegeben.

¹ Die hier untersuchten Parameter HR, SD1 und SD2 wurden anhand von 111 unter standardisierten Bedingungen (ruhig Liegen) aufgenommenen 5-min-Intervallen mittels Shapiro-Wilk's W-Test auf Normalverteilung (Nullhypothese) für große Stichproben geprüft (STATISTICA für Windows 5.0A, StatSoft Inc., Tulsa, OK 74104, USA). Ergebnis: HR: $W = ,9635$ ($p < ,0310$), SD1: $W = ,8970$ ($p < ,0001$), SD2: $W = ,9702$ ($p < ,1163$). Damit mußte zumindest für die HR und die SD1 die Nullhypothese, daß es sich um eine Normalverteilung handelte, zurückgewiesen werden. Im Vergleich zu vielen anderen Tests auf Normalverteilung hat der Shapiro-Wilk's W-Test eine hohe Aussagekraft (SHAPIRO et al. 1968).

Für die statistische Prüfung der Ergebnisse wurden in dieser Studie aufgrund der nicht-symmetrischen Verteilung der HR und SD1 (s.o.) zwei nichtparametrische Tests verwendet:

(1) Der Wilcoxon-Paardifferenzen-Test¹ wurde verwendet, wenn abhängige Stichproben vorliegen (beide Stichproben bestehen aus Werten von den selben Individuen). Dies war der Fall, wenn bei den Versuchs- bzw. Kontrolltieren die Beobachtungen für die Parameter HR, SD1 und SD2 aus verschiedenen Meßzeiten, Lebenswochen oder 5-min-Intervallen stammten.

Die statistische Prüfung der Ergebnisse mittels Wilcoxon-Paardifferenzen-Test erfolgte mit dem Programmpaket STATISTICA für Windows 5.0A (StatSoft Inc., Tulsa, OK 74104, USA).

In den meisten Abbildungen der Ergebnisse (s. 4) befindet sich jeweils rechts neben dem entsprechenden Diagramm eine Signifikanzmatrix, in der die Ergebnisse des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests übersichtlich dargestellt sind (signifikante Unterschiede wurden mit einem * gekennzeichnet). In Abb. 3-6 ist ein Beispiel für eine Ergebnisdarstellung abgebildet. Die Darstellung in Matrixform vereinfacht den Vergleich genereller Trends bei Unterschieden zwischen den Lebenswochen. In diesem Beispiel ist im Diagramm (links) für die Kontrolle eine Verringerung der HR mit zunehmender Lebenswoche erkennbar. Die Signifikanzmatrix (rechts) verdeutlicht auf einen Blick die Stärke dieser Veränderung: Nach 2 bzw. 3 Wochen war der Unterschied signifikant. Auch für den Versuch sind signifikante Unterschiede der HR zwischen den Lebenswochen anhand der Signifikanzmatrix sofort zu erkennen, z.B. unterschied sich die HR in LW22 (Tiere erste Woche in Gruppenhaltung, s. 3.4) signifikant von der HR in LW21 und LW23 bis LW25, aber nicht von der HR in LW20. Dieses Beispiel der HR in LW22 verdeutlicht zudem, daß die Signifikanzmatrix nicht ohne das zugehörige Diagramm interpretiert werden darf, da der Wilcoxon-Paardifferenzen-Test nicht die Richtung der Veränderung prüft.

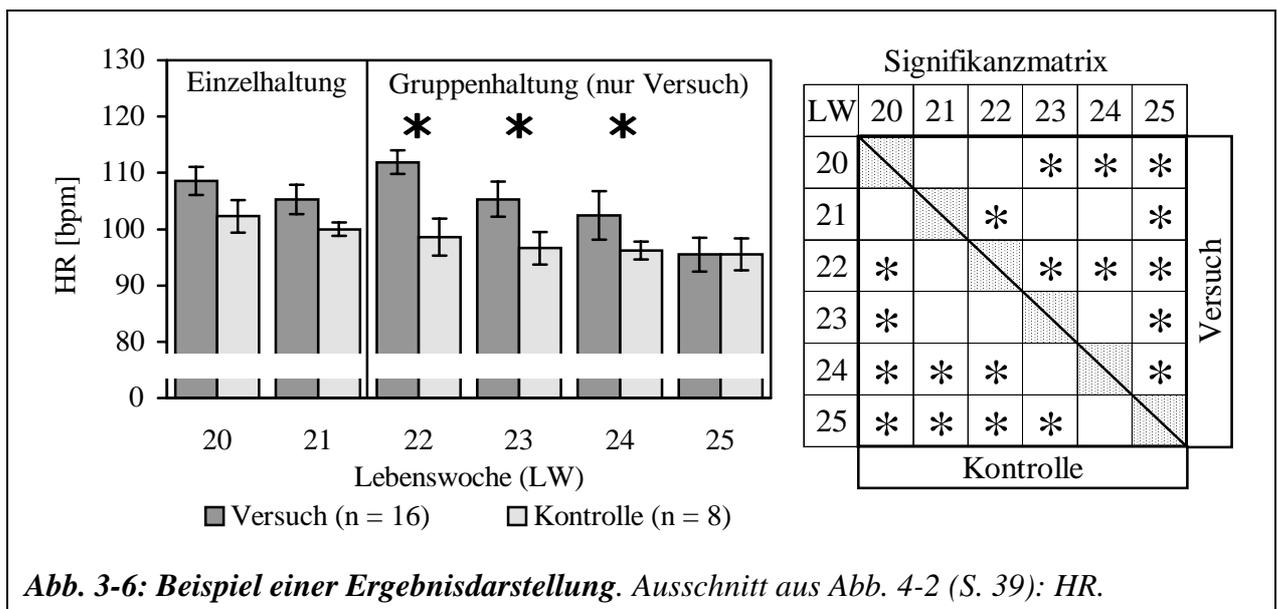


Abb. 3-6: Beispiel einer Ergebnisdarstellung. Ausschnitt aus Abb. 4-2 (S. 39): HR.

¹ Die Bezeichnung *Wilcoxon-Paardifferenzen-Test* wird bei SACHS (1997) verwendet. Andere Bezeichnungen sind *Wilcoxon-Vorzeichenrang-Test für abhängige Paare* (SIEGEL 1985) oder *Wilcoxon matched pairs test* (Computer program manual, STATISTICA for Windows 5.0 A, StatSoft, Inc. (1995), Tulsa, OK 74104, USA).

(2) Der Mann-Whitney U-Test wurde verwendet, wenn unabhängige Stichproben vorlagen (beide Stichproben bestehen aus Werten von verschiedenen Individuen). Dies war der Fall, wenn die Stichprobe der Versuchstiere gegen die Stichprobe der Kontrolltiere geprüft wurde (nur Vergleich jeweils gleicher Lebenswochen).

Die statistische Prüfung der Ergebnisse mittels Mann-Whitney U-Test erfolgte nach den bei SIEGEL (1985) beschriebenen Verfahren. War bei beiden Stichproben $n < 9$, so wurde der Mann-Whitney U-Test für sehr kleine Stichproben (SIEGEL 1985) verwendet, was nur bei der Prüfung des Einflusses zusätzlicher Beschäftigungsmöglichkeiten (s. 4.2.3) der Fall war. In allen anderen Fällen wurde der Mann-Whitney U-Test für n_2 (größere Stichprobe) zwischen 9 und 20 verwendet, für den allerdings in den Signifikanztafeln keine p-Werte angegeben sind (SIEGEL 1985).

Signifikante Unterschiede des Mann-Whitney U-Tests wurden im Ergebnisteil (s. 4) i.d.R. (Ausnahme Abb. 4-5, S. 50: abhängige Stichproben) in den Diagrammen der Abbildungen mit einem ★ gekennzeichnet (s. Abb. 3-6, S. 33).

Beide Tests gelten bezüglich ihrer Stärkeeffizienz als ausgezeichnete Alternativen zum t-Test und sind außerdem von dessen restriktiven Voraussetzungen und Anforderungen bezüglich der Daten unabhängig (SIEGEL 1985).

Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,05$ (zweiseitig) für alle statistischen Tests festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Vorbemerkungen

Vor der Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Experimente bzw. Auswertungsschritte werden die entsprechenden Zielsetzungen sowie wesentliche methodische Aspekte kurz rekapituliert. Es wurden nur solche Abbildungen und Tabellen in den Ergebnisteil aufgenommen, die für ein flüssiges Lesen der Ergebnisse notwendig sind. Alle anderen (Basis-) Daten und Statistiken befinden sich in den Tabellen im Anhang.

Sofern nicht anders vermerkt, wurden Ergebniswerte im Text als Median \pm Standardfehler des Medians angegeben (Standard-Deviation in den entsprechenden Tabellen im Anhang). Die p-Werte wurden erst nach dem Komma angegeben (wg. $p \leq 1$).

4.2 Haltungsexperiment

4.2.1 Fragestellung im Haltungsexperiment

Im Haltungsexperiment wurde der Frage nachgegangen, ob eine Gruppierung von Schweinen nach vorheriger Einzelhaltung *längerfristig* zu basalen (s. 1) Veränderungen in den kardiologischen Parametern HR, SD1 und SD2 führt. Als Kontrolle dienten Tiere, welche in den gleichen Lebensabschnitten bei vergleichbaren Randbedingungen (s. 3.4) ausschließlich einzeln gehalten wurden.

Außerdem interessierte, ob zusätzliche Manipulationsmöglichkeiten die möglicherweise durch die Gruppierung hervorgerufenen kardiophysiologischen Veränderungen beeinflussten.

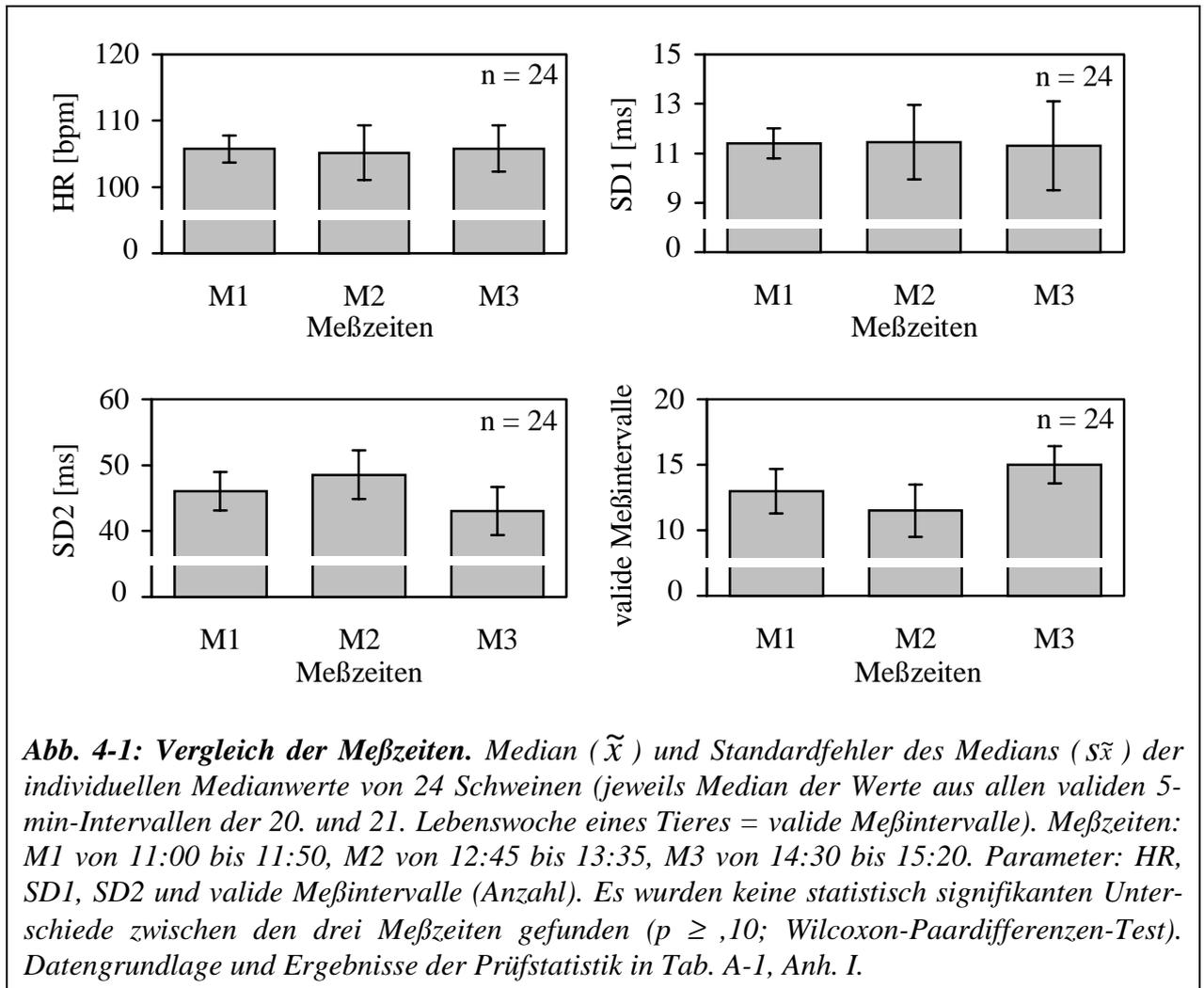
4.2.2 Einfluß der Tageszeit

Um eine ausreichend große Datenmenge zu erhalten, wurden pro Tag und Tier 3 telemetrische Messungen á 50 min durchgeführt (M1: 11:00 - 11:50 Uhr, M2: 12:45 - 13:35 Uhr, M3: 14:30 - 15:20 Uhr, s. 3.4). Da die Meßzeiten für die Berechnung der individuellen Wochenmediane zusammengefaßt werden sollten, wurde vorab geprüft, ob die unterschiedlichen Tageszeiten einen Einfluß auf die kardiologischen Parameter hatten.

Hierzu wurden für M1, M2 und M3 für jedes der 24 Schweine die Mediane der Parameterwerte aus allen validen 5-min-Intervallen der 20. und 21. Lebenswoche berechnet (s. Tab. A-1, Anh. I). Die Daten der 20. und 21. Lebenswoche waren für die Untersuchung des Einflusses der Tageszeit am besten geeignet, da hier die wesentlichen Randbedingungen für alle Tiere noch gleich waren (alle Tiere in Einzelhaltung).

Bei keinem der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 wurden signifikante Unterschiede zwischen den drei Tageszeiten gefunden, an denen die telemetrischen Messungen durchgeführt wurden (M1 vs. M2, M1 vs. M3 und M2 vs. M3: alle p-Werte $\geq ,10$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, s. Tab. A-1, Anh. I). Daher konnten die Daten aus den Meßzeiten M1, M2 und M3 bei allen weiteren Auswertungsschritten zusammengefaßt werden.

Dieses Ergebnis wird auch in Abb. 4-1 (S. 36) deutlich, in der die Mediane mit Standardfehler des Medians aus den individuellen Parameter(median)werten der HR, SD1 und SD2 der 24 Schweine in den drei Meßzeiten dargestellt sind (Datengrundlage s. Tab. A-1, Anh. I).



Die HR und die SD1 waren im Median der Werte von 24 Tieren bei allen drei Meßzeiten fast identisch (HR in M1 / M2 / M3: $105,7 \pm 2,0$ / $105,2 \pm 4,1$ / $105,8 \pm 3,5$ [bpm] und SD1 in M1 / M2 / M3: $11,4 \pm 0,6$ / $11,5 \pm 1,5$ / $11,3 \pm 1,8$ [ms]). Schwache Unterschiede zwischen Medianen in den drei Meßzeiten zeigten sich bei der SD2 (M1 / M2 / M3: $46,1 \pm 2,9$ / $48,6 \pm 3,7$ / $43,1 \pm 3,6$ [ms]), jedoch waren diese Unterschiede nicht signifikant (alle $p > ,10$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-1, Anh. I).

Zusätzlich zu den kardiologischen Parametern wurde auch die individuelle Anzahl an validen 5-min-Intervalle (valide Meßintervalle) aus den drei Meßzeiten verglichen. Da nur 5-min-Meßintervalle als 'valide' gewertet wurden, in denen die Schweine durchgehend ruhig lagen, könnten größere Unterschiede in der Anzahl valider 5-min-Intervalle indirekt auf verschiedene Aktivitätsprofile der Tiere in M1, M2 und M3 hinweisen. Aber auch hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Meßzeiten (valide Meßintervalle in M1 / M2 / M3: $13,0 \pm 1,7$ / $11,5 \pm 2,0$ / $15,0 \pm 1,4$; alle $p > ,10$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-1, Anh. I).

4.2.3 Einfluß zusätzlicher Beschäftigungsmöglichkeiten

Ein Aspekt des Haltungsexperiments bestand in der Frage, ob zusätzliche Beschäftigungsmöglichkeiten die kardiophysiologicalen Effekte, die nach der Gruppierung der Versuchstiere möglicherweise auftraten, beeinflussen konnten. Hierzu erhielten von den 16 Schweinen (Versuchstiere), die in der 22. Lebenswoche zu vier Vierergruppen gruppiert wurden, acht Schweine (bzw. zwei Vierergruppen) ad libitum zusätzliche Manipulationsobjekte (Kurzstroh in einer Raufe, Stein und Gummireifen). Die anderen zwei Vierergruppen wurden in der gleichen manipulationsarmen Umgebung gehalten, wie zuvor in der Einzelhaltung (s. 3.4).

In der Tab. 4-1 sind die Mediane und deren Standardfehler der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 der beiden Stichproben in den einzelnen Lebenswochen dargestellt.

Tab. 4-1: Ohne vs. mit zusätzlichen Objekten zur Beschäftigung. Vergleich der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 von 16 Schweinen, die ab LW22 in Vierergruppen (fettgedruckt) entweder ohne oder mit zusätzlichen Objekten zur Beschäftigung (Strohraufe, Stein, Reifen) gehalten wurden (LW20 und LW21 alle Tiere in Einzelhaltung ohne zusätzliche Objekte). Mediane (\tilde{x}) und Standardfehler der Mediane ($s\tilde{x}$). Statistik: Mann-Whitney U-Test für sehr kleine Stichproben (beide $n \leq 8$), zweiseitig, U-Werte für Stichproben ohne (U_o) und mit (U_m) Objekten, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ ($U_{DIFF} \geq 17$). Datengrundlage: Mediane der Parameterwerte aus allen validen 5-min-Intervallen je Tier und Lebenswoche, s. Tab. A-2 u. A-3 im Anh. II u. III.

Parameter	LW	$\tilde{x} \pm s\tilde{x}$ <u>ohne</u> Objekte (V_o ; $n = 8$)	$\tilde{x} \pm s\tilde{x}$ <u>mit</u> Objekten (V_m ; $n = 8$)	$U_o : U_m$	U_{DIFF} = $\frac{1}{2} U_o - U_m $	p	Signifikanz
HR [bpm]	20	110,3 ± 5,9	108,6 ± 4,3	32 : 32	0	,99	nein
	21	109,2 ± 8,6	103,0 ± 2,6	38 : 26	6	,57	nein
	22	111,8 ± 2,9	112,2 ± 3,6	32 : 32	0	,99	nein
	23	105,5 ± 4,3	105,3 ± 5,1	32 : 32	0	,99	nein
	24	104,6 ± 5,1	101,7 ± 5,2	32 : 32	0	,99	nein
	25	95,5 ± 4,7	95,4 ± 3,0	31 : 33	1	,96	nein
SD1 [ms]	20	9,1 ± 5,2	9,2 ± 1,9	35 : 29	3	,60	nein
	21	12,1 ± 2,6	12,0 ± 2,7	32 : 32	0	,99	nein
	22	7,3 ± 1,4	6,7 ± 2,8	38 : 26	6	,57	nein
	23	8,1 ± 2,7	9,7 ± 1,8	33 : 31	1	,96	nein
	24	11,7 ± 3,1	8,3 ± 2,0	43 : 21	11	,28	nein
	25	14,0 ± 3,7	15,1 ± 2,8	32 : 32	0	,99	nein
SD2 [ms]	20	50,4 ± 6,4	47,4 ± 5,3	41 : 23	9	,38	nein
	21	43,9 ± 6,2	49,7 ± 4,5	25 : 39	7	,51	nein
	22	43,9 ± 6,4	32,2 ± 6,5	43 : 21	11	,28	nein
	23	45,8 ± 5,7	42,8 ± 5,1	38 : 26	6	,57	nein
	24	47,7 ± 10,2	42,0 ± 6,1	39 : 25	7	,51	nein
	25	58,8 ± 7,5	52,7 ± 7,8	37 : 27	5	,65	nein

Die statistische Prüfung zeigte für keinen der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 in keiner Lebenswoche signifikante Unterschiede zwischen den beiden Stichproben ohne und mit zusätzlichen Manipulationsobjekten (kleinster p-Wert: ,28). Daher konnten die beiden Stichproben bei allen weiteren Auswertungsschritten zu einer Stichprobe zusammengefaßt werden.

4.2.4 Einfluß der Gruppierung auf die kardiologischen Parameter

Die zentrale Frage im Haltungsexperiment war, ob die Gruppierung zu *längerfristigen* basalen Veränderungen der Wochenmediane der Parameter HR, SD1 und SD2 führte.

Von insgesamt 24 Schweinen wurden 16 Versuchstiere ($V = V_o + V_m$) nach Einzelhaltung (LW20 und LW21) zu Beginn der 22. Lebenswoche in vier Gruppen á vier Tiere zusammengestellt (da die Manipulationsobjekte (V_m) die hier untersuchten kardiophysiologischen Parameter nicht beeinflussten (s. 4.2.3), wurden die Tiere in einer Stichprobe zusammengefaßt), wogegen 8 Kontrolltiere (K) im gesamten Zeitraum (LW20 bis LW25) einzeln gehalten wurden.

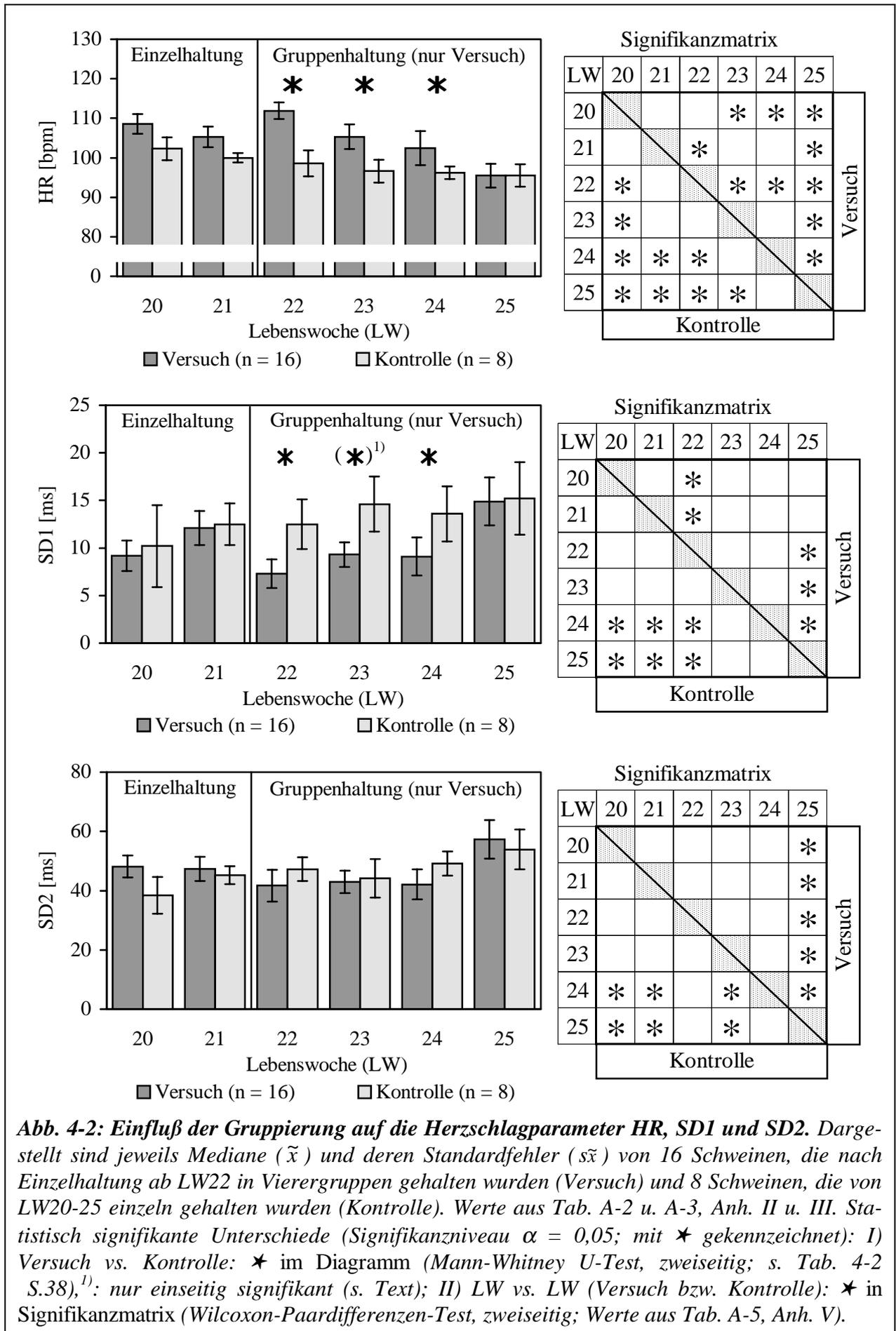
Zunächst wurde der Gruppierungseffekt auf der Basis der absoluten Werte der Wochenmediane der kardiologischen Parameter HR, SD1 und SD2 geprüft.

Die Diagramme mit zugehöriger Signifikanzmatrix (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test) zu diesen, auf den nächsten Seiten beschriebenen, Ergebnissen sind in Abb. 4-2 dargestellt.

Die Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests für den Vergleich zwischen den beiden Stichproben (Versuch vs. Kontrolle) befinden sich in Tab. 4-2.

Tab. 4-2: Gruppierung vs. Kontrolle - Absolute Werte der Herzschlagparameter. Vergleich der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 von 16 Schweinen (Versuch), die ab der 22. Lebenswoche (LW) in Gruppenhaltung (fettgedruckt) gehalten wurden (LW20 und LW21 in Einzelhaltung) und 8 Schweinen (Kontrolle), die von LW20 bis zur LW25 einzeln gehalten wurden. Mediane (\tilde{x}) und Standardfehler der Mediane ($s\tilde{x}$). Prüfstatistik: Mann-Whitney U-Test, zweiseitig bzw. einseitig, U-Werte für Versuch (U_V) und Kontrolle (U_K), Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$. Datengrundlage siehe Tab. A-2 und A-3 im Anh. II-III.

Parameter	LW	$\tilde{x} \pm s\tilde{x}$	$\tilde{x} \pm s\tilde{x}$	$U_V : U_K$	$U_{DIFF} = \frac{1}{2} U_V - U_K $	Signifikanz	Signifikanz
		<u>Versuch</u> (n = 16)	<u>Kontrolle</u> (n = 8)			zweiseitig $U_{DIFF} \geq 33$	einseitig $U_{DIFF} \geq 28$
HR [bpm]	20	108,6 ± 2,5	102,3 ± 2,9	39 : 89	25	nein	nein
	21	105,3 ± 2,6	100,0 ± 1,2	45 : 83	19	nein	nein
	22	111,9 ± 2,1	98,6 ± 3,3	13 : 115	51	ja	ja
	23	105,3 ± 3,1	96,6 ± 2,9	27 : 101	37	ja	ja
	24	102,4 ± 4,3	96,2 ± 1,6	25 : 103	39	ja	ja
	25	95,5 ± 3,0	95,5 ± 2,8	45 : 83	19	nein	nein
SD1 [ms]	20	9,2 ± 1,6	10,2 ± 4,3	64 : 64	0	nein	nein
	21	12,1 ± 1,8	12,5 ± 2,2	69 : 59	5	nein	nein
	22	7,3 ± 1,5	12,5 ± 2,6	101 : 27	37	ja	ja
	23	9,3 ± 1,3	14,6 ± 2,9	93 : 35	29	nein	ja
	24	9,1 ± 2,0	13,6 ± 2,9	104 : 24	40	ja	ja
25	14,9 ± 2,5	15,2 ± 3,8	80 : 48	16	nein	nein	
SD2 [ms]	20	48,1 ± 3,7	38,4 ± 6,2	60 : 68	4	nein	nein
	21	47,3 ± 4,1	45,2 ± 3,0	57 : 71	7	nein	nein
	22	41,7 ± 5,4	47,2 ± 4,0	83 : 45	19	nein	nein
	23	43,0 ± 3,8	44,2 ± 6,5	69 : 59	5	nein	nein
	24	42,1 ± 5,1	49,1 ± 4,1	87 : 41	23	nein	nein
25	57,3 ± 6,5	53,9 ± 6,7	65 : 63	1	nein	nein	



Die **HR-Werte** (individuelle Wochenmediane und daraus resultierende Stichprobenmediane mit Standardfehler des Medians und Median-Deviation) befinden sich in Tab. A-2 im Anh. II; sie bildeten die Grundlage für die obere Darstellung der Ergebnisse in Abb. 4-2 (S. 39).

Bei den Kontrolltieren, die über den gesamten Versuchszeitraum einzeln gehaltenen wurden, verringerte sich die HR von der 20. bis zur 25. Lebenswoche relativ gleichmäßig. Die Unterschiede waren nach zwei (LW20 vs. LW22: $p = ,0251$; LW22 vs. LW24: $p = ,0499$) bzw. drei (LW21 vs. LW24: $p = ,0173$) Wochen signifikant (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-5, Anh. V).

Auch die Versuchstiere zeigten von der 20. bis zur 21. Lebenswoche zunächst eine Abnahme der HR, also in der Zeit, in der sie noch einzeln gehalten wurden. Ihre HR lag in dieser Zeit im Median zwar etwas über der HR der Kontrolltiere, jedoch war dieser Unterschied nicht signifikant (HR-Werte und Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests in Tab. 4-2, S. 38).

Nach der Gruppierung der 16 Versuchstiere in vier Vierergruppen zu Beginn der 22. Lebenswoche erhöhte sich ihre HR im Median. Diese Erhöhung der HR von $105,3 \pm 2,6$ bpm in LW21 auf $111,9 \pm 2,1$ bpm in LW22 war signifikant ($p = ,0174$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-5, Anh. V). Der Unterschied zu der niedrigeren HR der Kontrolltiere ($98,6 \pm 3,3$ bpm) in der gleichen Lebenswoche war ebenfalls signifikant (Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-2, S. 38).

In den folgenden Lebenswochen nahm die HR der Versuchstiere im Median von Woche zu Woche wieder ab: $111,9 \pm 2,1$ bpm in LW22, $105,3 \pm 3,1$ bpm in LW23, $102,4 \pm 4,3$ bpm in LW24, $95,5 \pm 3,0$ bpm in LW25 (s. Tab. 4-2, S. 38, bzw. Tab. A-2, Anh. II). Die wöchentlichen Abnahmen der HR waren signifikant oder tendenziell signifikant (LW22 vs. LW23: $p = ,0131$; LW23 vs. LW24: $p = ,0609$; LW24 vs. LW25: $p = ,0005$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-5, Anh. V).

Wie in der 22. Lebenswoche (s.o.) hatten die Versuchstiere im Median auch in der 23. und 24. Lebenswoche eine signifikant höhere HR als die Kontrolltiere; erst in der 25. Lebenswoche war kein signifikanter Unterschied mehr zu der HR der Kontrolltiere festzustellen (HR-Werte und Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-2, S. 38).

Die **SD1-Werte** (individuelle Wochenmediane und daraus resultierende Stichprobenmediane mit Standardfehler des Medians und Median-Deviation) befinden sich in Tab. A-3 im Anh. III; sie bildeten die Grundlage für die mittlere Darstellung der Ergebnisse in Abb. 4-2 (S. 39).

Die SD1 veränderte sich im Vergleich zur HR über die Zeit tendenziell gegenläufig. Bei den Kontrolltieren erhöhte sich die SD1 von Woche zu Woche, wobei signifikante Unterschiede, ähnlich wie bei der HR, nach zwei (LW22 vs. LW24: $p = ,0357$), drei (LW21 vs. LW24: $p = ,0117$) oder sogar erst nach vier (LW20 vs. LW24: $p = ,0251$) Wochen nachweisbar waren (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-5, Anh. V).

Die im mittleren Diagramm der Abb. 4-2 (S. 39) erkennbaren leichten Schwankungen bei der Erhöhung der SD1 der Kontrolltiere dürfen nicht überbewertet werden, da hier mit dem Median der Werte einer kleinen Stichprobe ($n = 8$) gearbeitet wurde: Betrachtet man z.B. nur die Mediane der SD1 der Kontrolltiere in LW23 ($14,6 \pm 2,9$ ms) und LW24 ($13,6 \pm 2,9$ ms), so scheinen diese für eine Verringerung der SD1 zu sprechen. Bei einem Vergleich der individuellen Werte der 8 Kontrolltiere (s. Tab. A-3, Anh. III) zeigt sich jedoch, daß die SD1 bei 7 von 8

Tieren zunahm (Abnahme der SD1 nur bei Tier Nr.82). Diese 'reale' Zunahme der SD1 von LW23 nach LW24 wird deutlicher, wenn man die Daten auf der Ebene der Änderungen zur Vorwoche auswertet (s. Abb. 4-3, S. 43): Die Zunahme der SD1 von LW23 nach LW24 betrug im Median der individuellen Änderungen $2,6 \pm 0,9$ ms (höchste Änderung von allen Lebenswochen der Kontrolltiere, s. Tab. A-4, Anh. IV).

Auch bei den Versuchstieren erhöhte sich die SD1 zunächst von der 20. zur 21. Lebenswoche von $9,2 \pm 1,6$ ms auf $12,1 \pm 1,8$ ms (Tab. A-3, Anh. III). Signifikante Unterschiede zu der SD1 der Kontrolltiere (LW20: $10,2 \pm 4,3$ ms; LW21: $12,5 \pm 2,2$ ms; Tab. A-3, Anh. III) wurden für die Zeit der Einzelhaltung der Versuchstiere nicht nachgewiesen, die U_{DIFF} -Werte waren mit 0 und 5 sogar ausgesprochen niedrig (Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-2, S. 38).

Nach der Gruppierung in der 22. Lebenswoche verringerten sich die SD1-Werte der Versuchstiere im Median ($7,3 \pm 1,5$ ms; Tab. A-3, Anh. III) dann aber so stark, daß sie sich nicht nur von der SD1 der Kontrolltiere ($12,5 \pm 2,6$ ms; Tab. A-3, Anh. III; Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-2, S. 38), sondern auch von den eigenen Werten aus den beiden (!) vorangegangenen Lebenswochen (s.o.) signifikant unterschieden (LW20 vs. LW22: $p = ,0097$; LW21 vs. LW22: $p = ,0004$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-5, Anh. V).

In den beiden folgenden Lebenswochen LW23 und LW24 erhöhten sich die SD1-Werte der Versuchstiere (LW23: $9,3 \pm 1,3$ ms; LW24: $9,1 \pm 2,0$ ms) etwas (nicht signifikant) gegenüber LW22 (LW22 vs. LW23: $p = ,0557$; LW22 vs. LW24: $p = ,2146$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-5, Anh. V). Der signifikante Unterschied zu der SD1 der Kontrolltiere (LW23: $14,6 \pm 2,9$ ms; LW24: $13,6 \pm 2,9$ ms; Tab. A-3, Anh. III) blieb bestehen (Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-2, S. 38).

Allerdings war der Unterschied zwischen Versuchstieren und Kontrolltieren in der 23. Lebenswoche nur beim einseitigen Mann-Whitney U-Test auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ signifikant (Tab. 4-2, S. 38). Die Ursache dafür war das Versuchstier Nr.35. Es hatte mit Abstand die höchsten SD1-Werte von allen Versuchs- und Kontrolltieren (Tab. A-3, Anh. III): Der Median aus den SD1-Werten aller sechs untersuchten Lebenswochen betrug für Tier Nr.35 $30,6 \pm 5,3$ ms, wohingegen der nächsthöchste Wert erst bei $21,2 \pm 1,6$ ms (Kontrolltier Nr.74) lag (keine Tabelle vorhanden). Ein Vergleich der SD1-Werte der 23. Lebenswoche zwischen Versuchs- und Kontrolltieren ohne Tier Nr.35 ergab dann auch einen signifikanten Unterschied bei zweiseitigem Mann-Whitney U-Test (Tab. A-7, Anh. VI).

In LW25 erhöhte sich die SD1 der Versuchstiere dann soweit ($14,9 \pm 2,5$ ms; Tab. A-3, Anh. III), daß sie sich einerseits von der SD1 aus den drei vorangegangenen Wochen der Gruppenhaltung signifikant unterschied ($p = ,0008$ (vs. LW22), $p = ,0009$ (vs. LW23) und $p = ,0084$ (vs. LW24); Tab. A-5, Anh. V) und andererseits nun kein signifikanter Unterschied mehr zu den Kontrolltieren ($15,2 \pm 3,8$ ms; Tab. A-3, Anh. III) gefunden wurde (Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-2, S. 38).

Die **SD2-Werte** (individuelle Wochenmediane und daraus resultierende Stichprobenmediane mit Standardfehler des Medians und Median-Deviation) befinden sich in Tab. A-3 im Anh. III; sie bildeten die Grundlage für die untere Darstellung der Ergebnisse in Abb. 4-2 (S. 39).

Bei dem HRV-Parameter SD2 waren Veränderungen, wenn überhaupt, nur sehr schwach ausgeprägt (s. Tab. A-3, Anh. III). Für die Kontrolltiere wurde ein signifikanter Anstieg der SD2-Werte erst in der 24. und 25. Lebenswoche deutlich (signifikante Unterschiede jeweils zu LW20, LW21 und LW23, Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-5, Anh. V).

Signifikante Unterschiede zwischen den Versuchstieren und den Kontrolltieren traten in keiner Lebenswoche auf (Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-2, S. 38). Ein signifikanter Einfluß der Gruppierung auf die SD2 konnte auch beim Vergleich der SD2-Werte der einzelnen Lebenswochen innerhalb der Stichprobe Versuchstiere nicht nachgewiesen werden (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-5, Anh. V), obwohl es im unteren Diagramm der Abb. 4-2 (S. 39) so aussieht, als ob die Gruppierung einen leicht senkenden Effekt auf diesen kardiophysiologischen Parameter hatte. Immerhin war die SD2 im Median bei den Versuchstieren in der 25. Lebenswoche ($57,3 \pm 6,7$ ms; Tab. A-3, Anh. III) gegenüber allen vorangegangenen Lebenswochen (LW20: $48,1 \pm 3,7$ ms; LW21: $47,3 \pm 4,1$ ms; LW22: $41,7 \pm 5,4$ ms; LW23: $43,0 \pm 3,8$ ms; LW24: $42,1 \pm 5,1$ ms; Tab. A-3, Anh. III) signifikant erhöht (vs. LW20: $p = ,0023$; vs. LW21: $p = ,0052$; vs. LW22: $p = ,0016$; vs. LW23: $p = ,0038$; vs. LW24: $p = ,0045$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-5, Anh. V).

Die vorab dargestellte Analyse der Daten mittels absoluter Werte ist jedoch nicht ganz unproblematisch. So war die HR bei den Versuchstieren im Median bereits in der 20. und 21. Lebenswoche deutlich höher als die HR der Kontrolltiere (s.o.). Der Unterschied war zwar nicht signifikant ($U_{\text{DIFF}} = 25$ (LW20) bzw. 19 (LW21); s. Tab. 4-2, S. 38), aber bei einseitiger Prüfung wäre eine Signifikanz auf dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ bei $U_{\text{DIFF}} \geq 28$ fast erreicht gewesen. Der signifikante Unterschied zwischen Versuchs- und Kontrolltieren nach der Erhöhung der HR in Folge der Gruppierung der Versuchstiere in LW22 wäre vielleicht nicht signifikant gewesen, wenn die Werteverteilungen der HR beider Stichproben von vornherein näher beieinander gelegen hätten. Bei den Parametern SD1 und SD2 waren sich die Stichproben von Versuchs- und Kontrolltieren einander ähnlicher (U_{DIFF} -Werte zwischen 0 und 7 in LW20 und LW21; Signifikanz für $\alpha = 0,05$ bei $U_{\text{DIFF}} \geq 33$ (zweiseitig); s. Tab. 4-2, S. 38). Zudem wurde an den Kontrolltieren deutlich, daß die Parameter HR, SD1 und SD2 einer zeitlichen Veränderung unterlagen, wobei die HR von dieser zeitabhängigen Änderung offensichtlich am stärksten betroffen war. Es konnte also nicht ausgeschlossen werden, daß durch die Gruppierung verursachte Veränderungen der kardiologischen Parameterwerte möglicherweise von der normalen zeitabhängigen Veränderung überlagert wurden.

Daher wurde der Gruppierungseffekt auch auf der Basis der Änderungen der Wochenmediane von HR, SD1 und SD2 zur jeweiligen Vorwoche geprüft.

Die Diagramme mit zugehöriger Signifikanzmatrix (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test) zu diesen Ergebnissen sind in Abb. 4-3 (S. 43) dargestellt.

Tab. 4-3 (S. 44) zeigt die Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests für den Vergleich zwischen den beiden Stichproben (Versuch vs. Kontrolle).

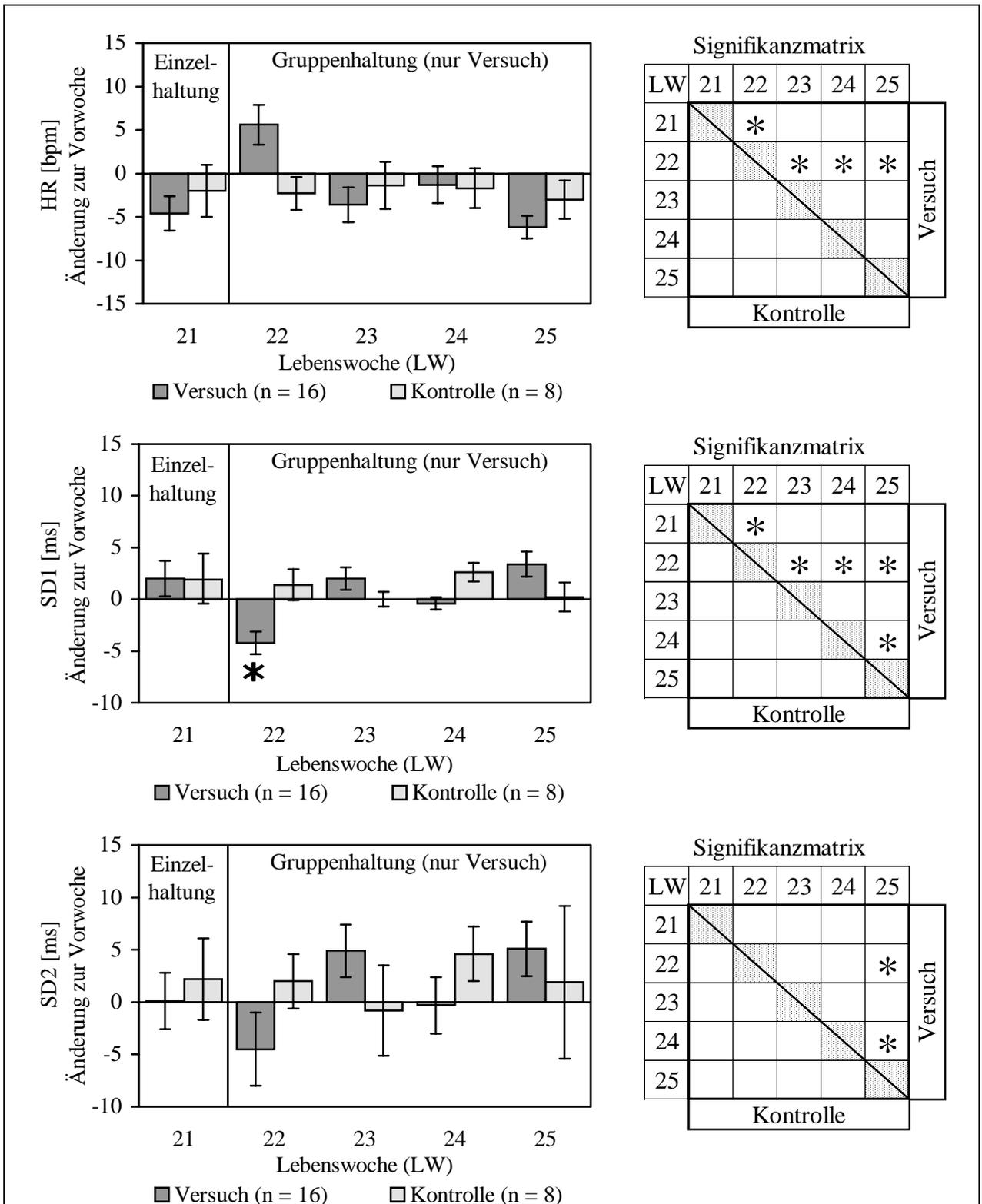


Abb. 4-3: Einfluß der Gruppierung auf die Änderung der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 zur Vorwoche. Dargestellt sind jeweils Mediane (\bar{x}) und deren Standardfehler ($s\bar{x}$) von 16 Schweinen, die nach Einzelhaltung ab LW22 in Vierer-Gruppen gehalten wurden (Versuch) und 8 Schweinen, die von LW20 bis LW25 einzeln gehalten wurden (Kontrolle). Werte aus Tab. A-4, Anh. IV.

Statistisch signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$; mit * gekennzeichnet):
 I) Versuch vs. Kontrolle: * im Diagramm, nur wenn Signifikanz zu allen LW (Mann-Whitney U-Test, zweiseitig; Werte aus Tab. 4-3, S. 44);
 II) LW vs. LW (Versuch bzw. Kontrolle): * in Signifikanzmatrix (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, zweiseitig; Werte aus Tab. A-6, Anh. V).

Tab. 4-3: Gruppierung vs. Kontrolle - Änderung zur Vorwoche. Ergebnisse des Mann-Whitney U-Tests (zweiseitig) für den Vergleich der Änderungen der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 zur jeweiligen Vorwoche. Verglichen wurden hier die Änderungswerte aus allen Lebenswochen (LW21 - LW25) der 16 Versuchstiere mit denen aus allen Lebenswochen (LW21 - LW25) der 8 Kontrolltiere (Datengrundlage siehe Tab. A-4, Anh. IV). U-Werte für Versuch (U_V) und Kontrolle (U_K), $U_{DIFF} = \frac{1}{2}|U_V - U_K|$, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ mit \star gekennzeichnet und fett gedruckt (zweiseitig: $U_{DIFF} \geq 33$).

		Versuchstiere (Gruppenhaltung ab LW 22; n = 16)										
		LW 21		LW 22		LW 23		LW 24		LW 25		
HR		$U_V:U_K$	U_{DIFF}	$U_V:U_K$	U_{DIFF}	$U_V:U_K$	U_{DIFF}	$U_V:U_K$	U_{DIFF}	$U_V:U_K$	U_{DIFF}	
	Kontrolltiere (Einzelhaltung; n = 8)	LW21	72:56	8	28:100	36*	74:54	10	59:69	5	85:43	21
LW22		83:45	19	27:101	37*	90:38	26	70:58	6	103:25	39*	
LW23		81:47	17	41:87	23	90:38	26	73:55	9	103:25	39*	
LW24		74:54	10	32:96	32	79:49	15	58:70	6	92:36	28	
LW25		87:47	20	31:97	33*	75:53	11	66:62	2	104:24	40*	
SD1			$U_V:U_K$	U_{DIFF}								
		LW21	59:69	5	106:22	42*	51:77	13	71:57	7	37:91	27
LW22		54:74	10	116:12	52*	53:75	11	77:51	13	31:97	33*	
LW23		53:75	11	113:15	49*	45:83	19	67:61	3	25:103	39*	
LW24		67:61	3	121:7	57*	67:61	3	91:37	27	48:80	16	
LW25		60:68	4	112:16	48*	53:75	11	72:56	8	38:90	26	
SD2			$U_V:U_K$	U_{DIFF}								
		LW21	66:62	2	89:39	25	56:72	8	73:55	9	43:85	21
LW22		69:59	5	98:30	34*	56:72	8	75:53	11	41:87	23	
LW23		59:69	5	81:47	17	44:84	20	56:72	8	35:93	29	
LW24	91:37	27	104:24	40*	70:58	6	92:36	28	65:63	1		
LW25	74:54	10	87:41	23	59:69	5	75:53	11	44:84	20		

Die Trends der zeitlichen Veränderung der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2, die sich bereits bei der vorangegangenen Präsentation der absoluten Werte angedeutet haben, wurden anhand der Änderungen der Parameter zur Vorwoche doch deutlicher. Die zeitabhängige Veränderung der Parameterwerte ist bei den Kontrolltieren gut zu erkennen (s. Abb. 4-3, S. 43):

Die HR zeigte in jeder Lebenswoche eine negative Änderung zur Vorwoche (Änderung der HR [bpm] in LW21 / 22 / 23 / 24 / 25: $-2,0 \pm 3,0$ / $-2,3 \pm 1,9$ / $-1,4 \pm 2,7$ / $-1,7 \pm 2,3$ / $-3,0 \pm 2,2$; s. Tab. A-4, Anh. IV). Dagegen zeigten die HRV-Parameter SD1 und SD2 eher eine positive Änderung zur jeweiligen Vorwoche (Änderung der SD1 [ms] in LW21 / 22 / 23 / 24 / 25: $1,9 \pm 2,3$ / $1,4 \pm 1,5$ / $0,0 \pm 0,7$ / $2,6 \pm 0,9$ / $0,2 \pm 1,4$; Änderung der SD2 [ms] in LW21 / 22 / 23 / 24 / 25: $2,2 \pm 3,9$ / $2,0 \pm 2,6$ / $-0,8 \pm 4,3$ / $4,6 \pm 2,6$ / $1,9 \pm 7,3$; s. Tab. A-4, Anh. IV).

Auch wenn die absolute Höhe der Änderungen in den einzelnen Lebenswochen nur innerhalb eines der drei Parameter, jedoch keinesfalls zwischen den drei Parametern verglichen werden darf, kann man sagen, daß die zeitabhängige Veränderung bei der HR am deutlichsten ausgeprägt war (im Mittel - 2,1 bpm pro Woche). Die zeitabhängigen Veränderungen bei den HRV-Parametern SD1 und SD2 schwankten dagegen stärker und waren teilweise sogar gegenläufig (Verringerung der SD2 in LW23, s.o.). Im Mittel erhöhte sich die SD1 um 1,2 ms und die SD2 um 2,0 ms pro Woche.

Bei keinem der drei Parameter wurden zwischen den einzelnen Lebenswochen signifikante Unterschiede bei den Änderungen zur Vorwoche gefunden (s. jeweilige Signifikanzmatrix in Abb. 4-3, S. 43; p-Werte in Tab. A-6, Anh. V), d.h. die jeweilige wöchentliche Veränderung der Parameter HR, SD1 und SD2 blieb im untersuchten Zeitraum ungefähr gleich hoch.

Ausgehend von diesem Ergebnis, daß bei den Kontrolltieren die wöchentlichen Änderungen der Parameter in etwa konstant blieben, müssen bezüglich der nachfolgend dargestellten Signifikanzen bei den Versuchstieren zwei wesentliche Bedingungen gemacht werden.

1. Damit eine Abweichung (Gruppierungseffekt) von der 'normalen' Höhe der wöchentlichen Änderung eines Parameters als wirklich signifikant verschieden akzeptiert werden kann, muß sie von den Änderungswerten aus *allen* anderen Lebenswochen derselben Stichprobe (Versuchsgruppe) signifikant verschieden sein (Signifikanzen des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests in der jeweiligen Signifikanzmatrix in Abb. 4-3, S. 43; p-Werte in Tab. A-6, Anh. V).
2. Da bei den Parameterwerten (absolute Werte, Tab. 4-2, S. 38, und Änderungen, Tab. 4-3, S. 44) keine signifikanten Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe in der 20. und 21. Lebenswoche (Tiere beider Gruppen in Einzelhaltung) nachgewiesen wurden, konnte davon ausgegangen werden, daß beide Stichproben statistisch gesehen zur selben Grundgesamtheit gehören. Damit gilt für eine wirklich akzeptable signifikante Abweichung nicht nur die unter 1. genannte Voraussetzung. Vielmehr muß eine auf einen Gruppierungseffekt hinweisende Abweichung bei der Versuchsgruppe auch von den Änderungswerten aus *allen* untersuchten Lebenswochen der anderen Stichprobe (Kontrollgruppe) signifikant verschieden sein (Achtung: Nur wenn diese 2. Bedingung erfüllt war, wurden signifikante Unterschiede im jeweiligen Diagramm mit einem ★ gekennzeichnet, s. Abb. 4-3, S. 43; U_{DIFF} -Werte des Mann-Whitney U-Tests in Tab. 4-3, S. 44).

Signifikante Unterschiede, die zwischen zwei Lebenswochen bzw. zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe 'vereinzelt' (1. und 2. Bedingung nicht erfüllt) auftraten, waren strenggenommen nicht wirklich signifikant. Sie können höchstens einen Hinweis auf tendenzielle Unterschiede geben.

Bei den Versuchstieren wurde der stärkste Gruppierungseffekt auf die Änderungswerte bei der SD1 in der ersten Woche der Gruppenhaltung (LW22) gefunden: Hier waren beide zuvor genannten Bedingungen für einen wirklich signifikanten Effekt erfüllt. Die SD1 verringerte sich von LW21 nach LW22 im Median um $-4,2 \pm 1,1$ ms (Tab. A-4, Anh. IV). Nur bei der SD1 in LW22 unterschied sich die Änderung zur Vorwoche nicht nur signifikant von den Änderungen in allen anderen Lebenswochen der Versuchstiere (LW21: $2,0 \pm 1,7$ ms, $p = ,0340$; LW23: $2,0 \pm 0,7$ ms, $p = ,0019$; LW24: $-0,4 \pm 0,6$ ms, $p = ,0084$; LW25: $3,4 \pm 1,2$ ms, $p = ,0004$; SD1-Werte aus Tab. A-4, Anh. IV; p-Werte des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests aus Tab. A-6, Anh. V), sondern auch signifikant von den Änderungen der SD1 in *allen* Lebenswochen der Kontrolltiere, wobei hier zudem die höchsten U_{DIFF} -Werte auftraten (LW22 (Versuch) vs. LW21 / 22 / 23 / 24 / 25 (Kontrolle): $U_{\text{DIFF}} = 42^* / 52^* / 49^* / 57^* / 48^*$; Signifikanz ($\alpha = 0,05$, zweiseitig): $U_{\text{DIFF}}^* \geq 33$; Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-3, S. 44). Alle anderen bei den drei Parametern vereinzelt gefundenen signifikanten U_{DIFF} -Werte lagen zwischen 33 und 40 (Tab. 4-3, S. 44).

Für den Parameter HR wurde ebenfalls ein Gruppierungseffekt auf die Änderung der HR von der 21. zur 22. Lebenswoche der Versuchstiere gefunden. Der Effekt war aber insofern schwächer als bei der SD1, da nur die 1. Bedingung für Signifikanz (s.o.) erfüllt wurde: Die Erhöhung der HR um $5,6 \pm 2,3$ bpm (Tab. A-4, Anh. IV) in der 22. Lebenswoche unterschied sich signifikant von den Änderungen in allen anderen Lebenswochen der Versuchstiere (LW21: $-4,6 \pm 2,0$ bpm, $p = ,0299$; LW23: $-3,6 \pm 2,0$ bpm, $p = ,0084$; LW24: $-1,3 \pm 2,1$ ms, $p = ,0200$; LW25: $-6,2 \pm 1,3$ ms, $p = ,0008$; SD1-Werte aus Tab. A-4, Anh. IV; p-Werte des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests aus Tab. A-6, Anh. V). Dagegen wurde die 2. Bedingung nicht voll erfüllt: Nur in drei von fünf Lebenswochen der Kontrolltiere wurden signifikante Unterschiede zu der Änderung der HR in der 22. Lebenswoche der Versuchstiere gefunden (LW22 (Versuch) vs. LW21 / 22 / 23 / 24 / 25 (Kontrolle): $U_{\text{DIFF}} = 36^* / 37^* / 23 / 32 / 33^*$; Signifikanz ($\alpha = 0,05$, zweiseitig): $U_{\text{DIFF}}^* \geq 33$; Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-3, S. 44). Immerhin wurde das Signifikanzkriterium bei LW22 (Versuch) vs. LW24 (Kontrolle) mit $U_{\text{DIFF}} = 32$ nur knapp verpaßt.

Der schwächste Gruppierungseffekt wurde bei der Änderung der SD2 gefunden. Die SD2 verringerte sich zwar in der 22. Lebenswoche bei den Versuchstieren im Median um $-4,5 \pm 3,5$ ms (Tab. A-4, Anh. IV), was mit Abstand der niedrigste Wert aller Änderungen der SD2 in der Versuchsgruppe und in der Kontrollgruppe war (s. Abb. 4-3, S. 43; Werte s. Tab. A-4, Anh. IV), jedoch wurde keine der beiden oben genannten statistischen Bedingungen erfüllt. Innerhalb der Versuchsgruppe war die Änderung in der 22. Lebenswoche nur zu der in der 25. Lebenswoche signifikant verschieden ($p = ,0173$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-6, Anh. V), womit die erste Bedingung nicht erfüllt war. Auch die zweite Bedingung war nicht erfüllt, da statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Änderung in der 22. Lebenswoche der Versuchstiere und den Änderungen der SD2 bei den Kontrolltieren nur bei zwei von fünf Vergleichen gefunden wurden (LW22 (Versuch) vs. LW21 / 22 / 23 / 24 / 25 (Kontrolle): $U_{\text{DIFF}} = 25 / 34^* / 17 / 40^* / 23$; Signifikanz ($\alpha = 0,05$, zweiseitig): $U_{\text{DIFF}}^* \geq 33$; Mann-Whitney U-Test, Tab. 4-3, S. 44).

Während in der 22. Lebenswoche der Versuchstiere bei allen drei Parametern jene Extremwerte aller Änderungen zur Vorwoche (Versuchs- und Kontrollgruppe) gefunden wurden (s.o.), deren Werte jeweils *entgegen* der ‘normalen’ Änderungsrichtung eines Parameters lagen, wurden die anderen Extremwerte der Änderungen der Parameter, die *in* der ‘normalen’ Änderungsrichtung lagen, alle in der 25. Lebenswoche der Versuchstiere gefunden (HR = $-6,2 \pm 1,3$ bpm, SD1 = $3,4 \pm 1,2$ ms, SD2 = $5,1 \pm 2,6$ ms, Tab. A-4, Anh. IV). Allerdings wurden hier nur vereinzelt signifikante Unterschiede zu den Änderungen in anderen Lebenswochen gefunden. Beim statistischen Vergleich der Lebenswochen innerhalb der Stichprobe Versuchstiere wurden signifikante Unterschiede nur für die Änderungen der Parameter SD1 und SD2 zwischen der 24. und der 25. Lebenswoche gefunden (SD1: $p = ,0411$; SD2: $p = ,0495$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-6, Anh. V). Vereinzelt Signifikanzen wurden ebenfalls in der 25. Lebenswoche für die Änderung der HR bzw. SD1 der Versuchstiere im Vergleich zu den Änderungen in einigen Lebenswochen der Kontrolltiere gefunden (U_{DIFF} -Werte s. Tab. 4-3, S. 44). Jedoch war bei keinem der Parameter eine der beiden oben gemachten Bedingungen für eine ‘echte’ statistische Signifikanz erfüllt.

4.2.5 Einfluß der Gruppierung auf die Gewichtsentwicklung

Im Rahmen des Haltungsexperiments wurden alle Tiere einmal die Woche gewogen (s. 3.1.6). Dies diente der Überprüfung, ob die Gruppierung einen Einfluß auf die Gewichtsentwicklung der Versuchstiere hatte. Neben dem absoluten Gewicht der Versuchs- und Kontrolltiere wurden auch deren durchschnittliche täglichen Gewichtszunahmen (berechnet aus den absoluten Gewichten) verglichen (Werte und Mann-Whitney U-Test in Tab. A-15, Anh. XV; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test in Tab. A16, Anh. XVI).

Das obere Diagramm in Abb. 4-4 (S. 48) zeigt die Wochenmediane und deren Standardfehler der Gewichte von Versuchs- bzw. Kontrolltieren. Die Gewichte beider Stichproben - Versuch (V) und Kontrolle (K) - nahmen von Woche zu Woche signifikant zu (s. Signifikanzmatrix; p-Werte aus dem Wilcoxon-Paardifferenzen-Test in Tab. A-16, Anh. XVI) und waren sich im Median in allen untersuchten Lebenswochen sehr ähnlich (jeweils V / K [kg]): LW20: $77,0 \pm 2,8 / 76,7 \pm 1,7$; LW21: $83,1 \pm 2,8 / 82,7 \pm 1,9$; LW22: $89,3 \pm 2,4 / 88,8 \pm 2,0$; LW23: $95,4 \pm 2,5 / 94,9 \pm 2,1$; LW24: $100,8 \pm 2,9 / 100,5 \pm 2,7$; LW25: $106,6 \pm 3,5 / 106,4 \pm 2,8$ (s. Tab. A-15, Anh. XV). Signifikante Unterschiede zwischen den Gewichten von Versuch und Kontrolle wurden in keiner der untersuchten Lebenswochen gefunden, vielmehr waren die U_{DIFF} -Werte in allen Lebenswochen sehr klein (LW20 / 21 / 22 / 23 / 24 / 25: $U_{\text{DIFF}} = 5 / 5 / 1 / 3 / 3 / 1$; Mann-Whitney U-Test, zweiseitig, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$: $U_{\text{DIFF}} \geq 33$; s. Tab. A-15, Anh. XV). Auf dieser Auswertungsebene zeigte sich demnach kein Einfluß der Gruppierung auf die Gewichtsentwicklung der Versuchstiere, zumal sie in jeder untersuchten Lebenswoche im Median immer nur um maximal ein halbes Kilo schwerer als die Kontrolltiere waren.

Bei der Auswertung der kardiologischen Parameter (s. 4.2.4) hatte sich gezeigt, daß sich Gruppierungseffekte teilweise besser darstellen ließen, wenn Veränderungen von Werten betrachtet wurden. Daher wurden an dieser Stelle auch die durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen (berechnet aus den absoluten Gewichten; s. Tab. A-15, Anh. XV) der Versuchs- und Kontrolltiere analysiert. Die Ergebnisse dieser Analyse sind im unteren Diagramm der Abb. 4-4 (S. 48) dargestellt (Werte aus Tab. A-15, Anh. XV).

Auf den ersten Blick verursachte die Gruppierung in der 22. Lebenswoche im Vergleich zur Vorwoche eine Abnahme der durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen der Versuchstiere von $1,1 \pm 0,1$ kg (LW21) auf $0,8 \pm 0,1$ kg (LW22). Auch wenn dieser Unterschied mit $p = ,0120^*$ signifikant war, kann er nicht eindeutig auf einen Gruppierungseffekt zurückgeführt werden, da auch bei den Kontrolltieren zwischen 21. ($1,0 \pm 0,1$ kg) und 22. ($0,9 \pm 0,1$ kg) Lebenswoche ein signifikanter Unterschied ($p = ,0173^*$) gefunden wurde (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-16, Anh. XVI). Für eine andere, gruppierungsunabhängige Ursache (z.B. ontogenetisch) spricht außerdem, daß sowohl bei den Versuchstieren, als auch bei den Kontrolltieren signifikante Unterschiede bzw. vergleichsweise niedrige p-Werte auch zwischen der 21. Lebenswoche und den anderen Lebenswochen gefunden wurden (LW21 vs. LW23 / LW24 / LW25: p (Versuchstiere) = $,0557 / ,0268^* / ,0058^*$ und p (Kontrolltiere) = $,0180^* / ,0280^* / ,1083$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-16, Anh. XVI). Ein weiterer

Punkt, der gegen einen Gruppierungseffekt spricht, ergab sich beim statistischen Vergleich zwischen den beiden Stichproben, wobei in keiner Lebenswoche signifikante Unterschiede bei den durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen der Versuchs- und Kontrolltiere gefunden wurden (alle U_{DIFF} -Werte zwischen 1 und 17, Signifikanz (zweiseitig) für $\alpha = 0,05$ bei $U_{\text{DIFF}} \geq 33$, Werte in Tab. A-15, Anh. XV).

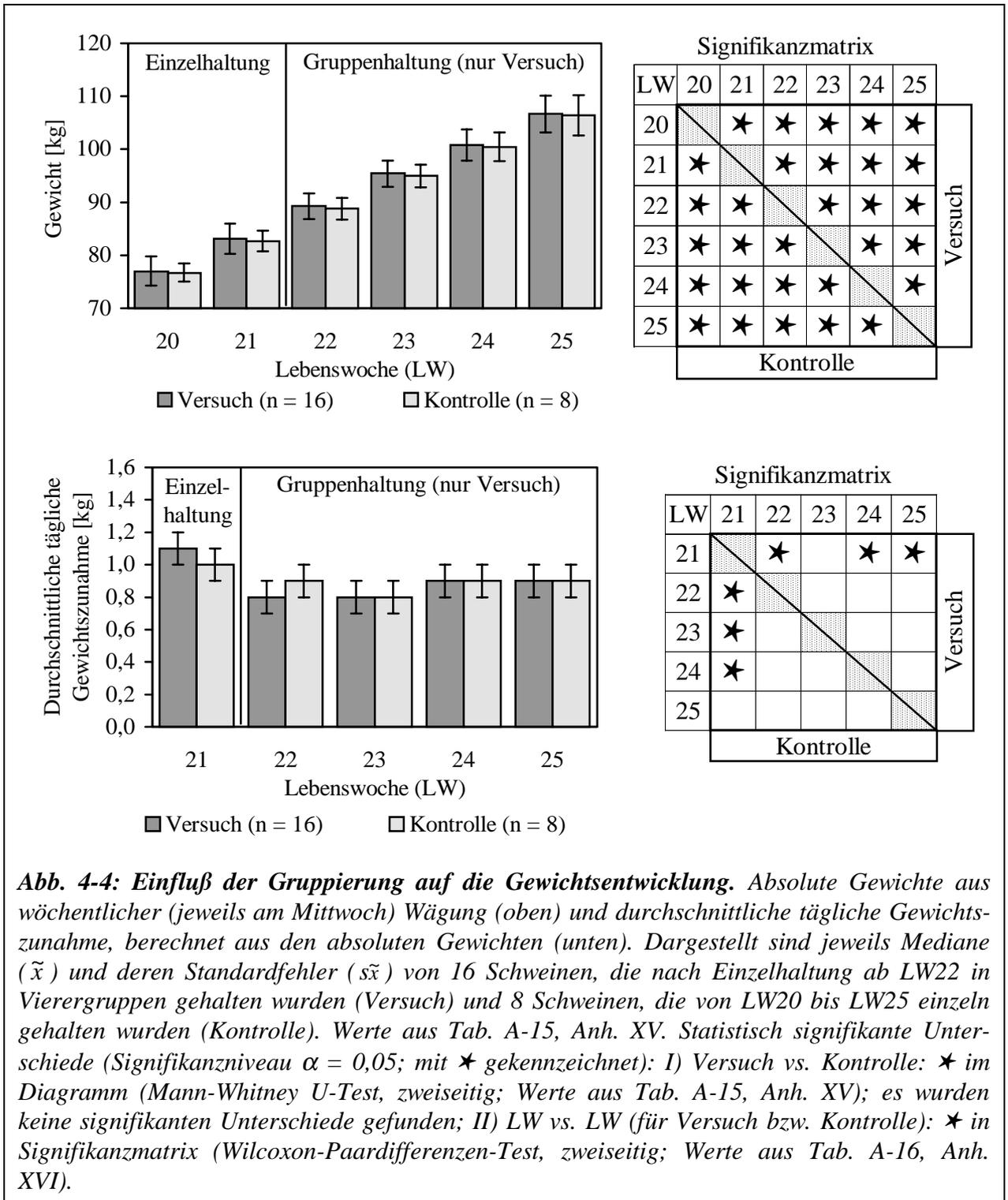


Abb. 4-4: Einfluß der Gruppierung auf die Gewichtsentwicklung. Absolute Gewichte aus wöchentlicher (jeweils am Mittwoch) Wägung (oben) und durchschnittliche tägliche Gewichtszunahme, berechnet aus den absoluten Gewichten (unten). Dargestellt sind jeweils Mediane (\tilde{x}) und deren Standardfehler ($s\tilde{x}$) von 16 Schweinen, die nach Einzelhaltung ab LW22 in Vierergruppen gehalten wurden (Versuch) und 8 Schweinen, die von LW20 bis LW25 einzeln gehalten wurden (Kontrolle). Werte aus Tab. A-15, Anh. XV. Statistisch signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$; mit ★ gekennzeichnet): I) Versuch vs. Kontrolle: ★ im Diagramm (Mann-Whitney U-Test, zweiseitig; Werte aus Tab. A-15, Anh. XV); es wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden; II) LW vs. LW (für Versuch bzw. Kontrolle): ★ in Signifikanzmatrix (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, zweiseitig; Werte aus Tab. A-16, Anh. XVI).

4.3 Groomingexperiment

4.3.1 Fragestellung im Groomingexperiment

In diesem Experiment wurden die *kurzfristigen und langfristigen* Effekte von ‘simuliertem’ Grooming auf die kardiologischen Parameter HR, SD1 und SD2 von Schweinen untersucht. Dazu wurden 8 Schweine (die Kontrolltiere im Haltungsexperiment, s. 4.2) über zwei Wochen (LW26 und LW27) wiederholt (je Tier dreimal pro Tag an vier Tagen pro Woche) in einem jeweils fünfminütigen sogenannten ‘Human Groom Encounter Test’ (HGET) von einem Versuchsleiter mit den Fingern, vor allem im Bauch- und Kopfbereich, ‘massiert’ (s. 3.5).

4.3.2 Kurzfristige (unmittelbare) Effekte der Grooming-Simulationen

An dieser Stelle wurden die kurzfristigen Effekte auf die Parameter HR, SD1 und SD2 während der Grooming-Simulation untersucht.

Als Datengrundlage diente die relative Abweichung vom 10-15-min-Intervall nach Beginn einer telemetrischen Messung. Der fünfminütige HGET wurde jeweils im 15-20-min-Intervall durchgeführt. Die Verwendung relativer Werte erfolgte, da Versuchs- und Kontrollmessungen aus verschiedenen Lebenswochen (Versuch: LW26, LW27; Kontrolle: LW20 bis LW25) der untersuchten Tiere stammten. Da Versuchs- und Kontrollmessungen an den selben Tieren durchgeführt wurden, wurde für den Vergleich zwischen diesen Stichproben der Wilcoxon-Paardifferenzen-Test verwendet (★ in den Diagrammen von Abb. 4-5, S. 50).

Obwohl der HGET mit 8 Tieren durchgeführt wurde, konnten nur 6 Tiere bei der Auswertung der kompletten telemetrischen Messungen (5 bis 35 min ab Meßbeginn, s. Abb. 4-5, S. 50) berücksichtigt werden, weil bei den beiden anderen Tieren nur $n = 2$ (Nr.91) bzw. $n = 3$ (Nr.72) brauchbare telemetrische Messungen vorhanden waren, in denen Tiere *durchgängig* ruhig auf der Seite lagen (bei den anderen 6 Tieren war $n \geq 7$). Die Berechnung des Medians aus nur 2 bzw. 3 Werten ist jedoch kritisch, da zufällig auftretende extreme Werte vom Verteilungsrand den Median übermäßig stark verschieben können.

Die **HR-Werte** (individuelle Mediane aus Versuchs- und Kontrollmessungen von 6 Schweinen und daraus resultierende Stichprobenmediane mit Standardfehler des Medians und Median-Deviation) befinden sich in Tab. A-9a im Anh. VII; sie bildeten die Grundlage für die obere Darstellung der Ergebnisse in Abb. 4-5 (S. 50).

Bei der Datenreihe der Kontrollmessungen wurde ein signifikanter Unterschied des Abweichungswertes im 5-10-min-Intervall zu allen anderen Intervallen gefunden (s. Signifikanzmatrix, Abb. 4-5, S. 50; alle $p = ,0277$, Tab. A-8, Anh. VI), was vermutlich auf einen Einfluß der Startbedingungen (Anwesenheit des Versuchsleiters für den Start der telemetrischen Empfangseinheiten) in diesem Intervall zurückzuführen sein dürfte. In den darauf folgenden 5-min-Intervallen veränderte sich die HR nicht mehr signifikant (der ‘vereinzelte’ signifikante Unterschied zwischen Intervall 10-15 und 15-20 kann als zufällig auftretende Signifikanz angesehen werden, da hier Veränderungen von Werten betrachtet wurden, bei denen eine ‘echte’ Signifikanz nur dann gegeben war, wenn signifikante Unterschiede zu *allen* verglichenen Intervallen auftraten; s. S. 45).

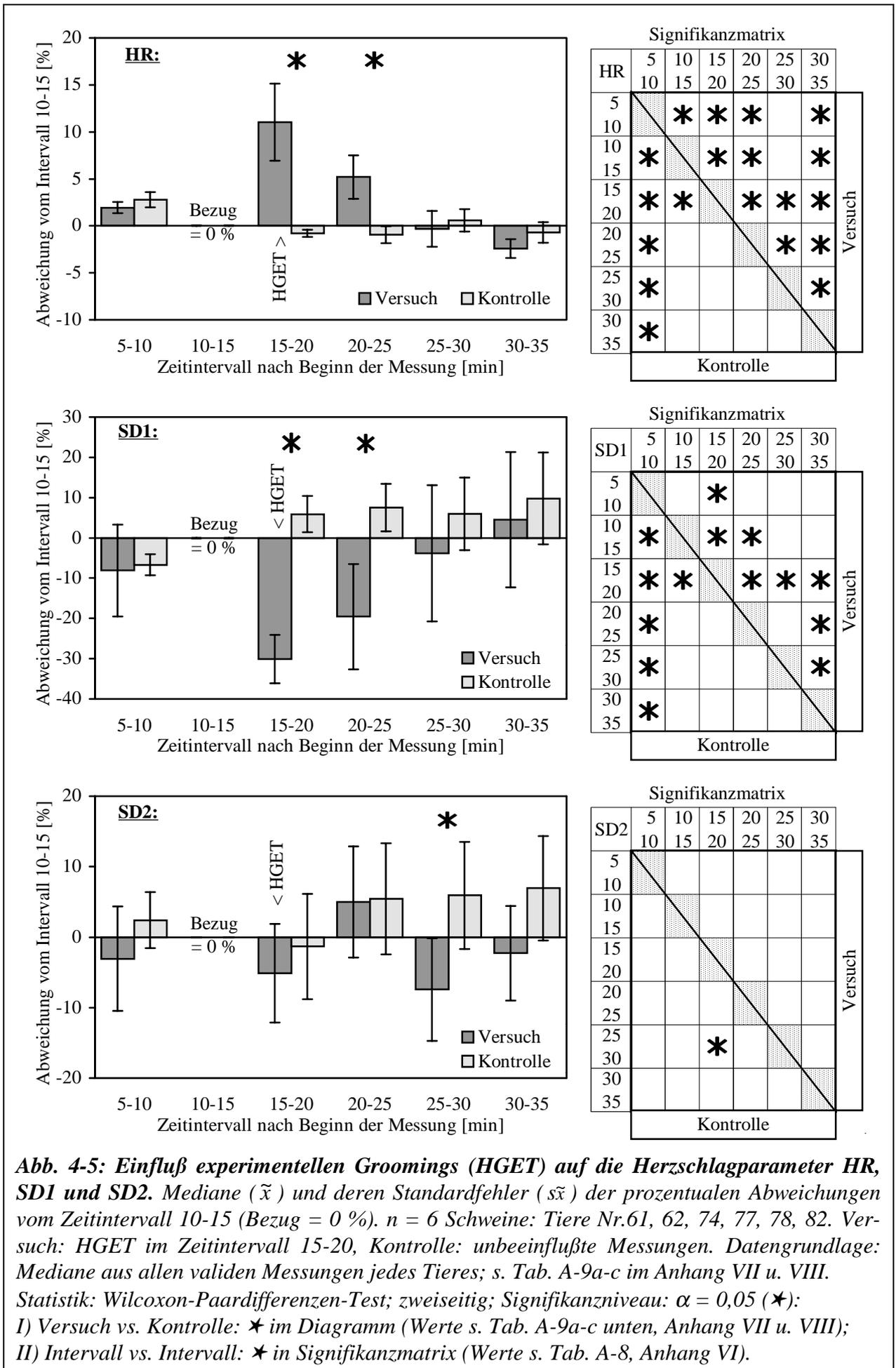


Abb. 4-5: Einfluß experimentellen Groomings (HGET) auf die Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2. Mediane (\tilde{x}) und deren Standardfehler ($s\tilde{x}$) der prozentualen Abweichungen vom Zeitintervall 10-15 (Bezug = 0 %). $n = 6$ Schweine: Tiere Nr.61, 62, 74, 77, 78, 82. Versuch: HGET im Zeitintervall 15-20, Kontrolle: unbeeinflusste Messungen. Datengrundlage: Mediane aus allen validen Messungen jedes Tieres; s. Tab. A-9a-c im Anhang VII u. VIII. Statistik: Wilcoxon-Paardifferenzen-Test; zweiseitig; Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$ (*): I) Versuch vs. Kontrolle: * im Diagramm (Werte s. Tab. A-9a-c unten, Anhang VII u. VIII); II) Intervall vs. Intervall: * in Signifikanzmatrix (Werte s. Tab. A-8, Anhang VI).

Dieser Befund bei den Kontrollmessungen war für die Interpretation der Versuchsmessungen insofern von Bedeutung, daß Veränderungen nach dem Bezugsintervall (10-15) auf die Versuchsbedingung (HGET) und nicht auf etwaige Startbedingungen zurückgeführt werden konnten.

Während der fünf-minütigen Grooming-Simulation (HGET) erhöhte sich die HR im Vergleich zum vorangegangenen 5-min-Intervall (10-15) signifikant ($p = ,0277$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-8, Anh. VI) um $11,0 \pm 4,1$ %, was einer absoluten Erhöhung von $89,6 \pm 3,9$ bpm auf $102,0 \pm 3,8$ bpm entsprach (Tab. A-9a, Anh. VII). Diese Erhöhung unterschied sich auch im Vergleich zu den Kontrollmessungen signifikant ($p = ,028$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-9a, Anh. VII). Nach Beendigung des HGET verringerte sich die HR, wobei in den ersten fünf Minuten (Intervall 20-25) noch ein signifikanter Unterschied bestand, sowohl zu allen anderen Intervallen der Versuchsmessungen (s. obere Signifikanzmatrix in Abb. 4-5, S. 50; p-Werte des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests in Tab. A-8, Anh. VI), als auch zum gleichen Intervall der Kontrollmessungen ($p = ,028$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-9a, Anh. VII): Im Vergleich zum Bezugsintervall (10-15) war die HR in dem Intervall (20-25) nach dem HGET noch um $5,2 \pm 2,3$ % erhöht (s. Tab. A-9a, Anh. VII). In den beiden darauf folgenden Intervallen (25-30 und 30-35) wurde kein signifikanter Unterschied mehr zu den Kontrollmessungen gefunden ($p = ,753$ und $,173$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-9a, Anh. VII). Allerdings war die HR im letzten gemessenen Intervall (30-35) im Vergleich zum Bezugsintervall (10-15) um $-2,4 \pm 1,0$ % verringert und unterschied sich signifikant von allen anderen Intervallen der Versuchsmessungen (s. Signifikanzmatrix, Abb. 4-5, S. 50; p-Werte des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests in Tab. A-8, Anh. VI).

Die **SD1-Werte** (individuelle Mediane aus Versuchs- und Kontrollmessungen von 6 Schweinen und daraus resultierende Stichprobenmediane mit Standardfehler des Medians und Median-Deviation) befinden sich in Tab. A-9b im Anh. VIII; sie bildeten die Grundlage für die mittlere Darstellung der Ergebnisse in Abb. 4-5 (S. 50).

Für den Einfluß des HGET auf die SD1 wurden im Prinzip vergleichbare Effekte und Signifikanzen wie bei der HR gefunden, allerdings mit entgegengesetzter Richtung der Veränderung.

Bei den Kontrollmessungen wurde, wie bei der HR, eine 'echte' Signifikanz (s.o. bzw. S. 45) zwischen den einzelnen 5-min-Intervallen nur für das Intervall 5-10 gefunden, in welchem sich die SD1 im Vergleich zu der in *allen* anderen Intervallen signifikant unterschied (p-Werte zwischen $,0464$ und $,0277$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, s. Tab. A-8, Anh. VI). Daher konnten auch bei der SD1 in den Versuchsmessungen Veränderungen nach dem Bezugsintervall (10-15) auf die Versuchsbedingung (HGET) und nicht auf etwaige Startbedingungen zurückgeführt werden.

Während der fünfminütigen Grooming-Simulation (HGET) verringerte sich die SD1 im Vergleich zum vorangegangenen 5-min-Intervall (10-15) signifikant ($p = ,0277$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-8, Anh. VI) um $-30,1 \pm 6,0$ %, was einer absoluten Verringerung von $16,3 \pm 7,1$ ms auf $10,6 \pm 5,6$ ms entsprach (Tab. A-9b, Anh. VIII). Diese Verringerung unterschied sich auch im Vergleich zu den Kontrollmessungen signifikant ($p = ,028$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-9b, Anh. VIII). Nach Beendigung des HGET erhöhte sich die SD1, wobei in den ersten fünf Minuten (Intervall 20-25) noch ein signifikanter Unter-

schied zum gleichen Intervall der Kontrollmessungen bestand ($p = ,046$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-9b, Anh. VIII): Im Vergleich zum Bezugsintervall (10-15) war die HR in dem Intervall (20-25) nach dem HGET noch um $-19,6 \pm 13,1$ % verringert (s. Tab. A-9b, Anh. VIII). In den beiden darauf folgenden Intervallen (25-30 und 30-35) wurde kein signifikanter Unterschied mehr zu den Kontrollmessungen gefunden ($p = ,173$ und $,917$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-9b, Anh. VIII).

Die **SD2-Werte** (individuelle Mediane aus Versuchs- und Kontrollmessungen von 6 Schweinen und daraus resultierende Stichprobenmediane mit Standardfehler des Medians und Median-Deviation) befinden sich in Tab. A-9c im Anh. VIII; sie bildeten die Grundlage für die untere Darstellung der Ergebnisse in Abb. 4-5 (S. 50).

Bei dem HRV-Parameter SD2 wurden keine Effekte wie bei der HR und der SD1 gefunden, weder bei den Kontrollmessungen, noch bei der Grooming-Simulation (HGET) in den Versuchsmessungen (s. untere Signifikanzmatrix in Abb. 4-5, S. 50; p -Werte des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests in Tab. A-8, Anh. VI (Intervall vs. Intervall) bzw. in Tab. A-9c, Anh. VIII (Versuch vs. Kontrolle)). Der einzige signifikante Unterschied wurde zwischen Versuchs- und Kontrollmessungen im Intervall 25-30 gefunden ($p = ,028$; Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests in Tab. A-9c, Anh. VIII). Allerdings muß die Signifikanz an dieser, bezogen auf die Ergebnisse bei der HR und der SD1, 'unerwarteten' Stelle nicht zwingendermaßen eine biologische Bedeutung im Sinne einer Nachwirkung des HGET haben, da bei kleiner Stichprobe ($n = 6$) einzelne signifikante Unterschiede auch leicht zufällig auftreten können.

Wie oben erwähnt, standen für die dargestellte Analyse der kompletten Versuchsmessungen (5 bis 35 min. ab Meßbeginn) nur 6 Tiere zur Verfügung. Diese Stichprobengröße ist zwar für die Anwendung des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests gerade ausreichend. Es könnte aber kritisiert werden, daß es sich bei den gefundenen Effekten auf die HR und die SD1 nicht um ein generelles Phänomen handelte, da vielleicht nur diese 6 Tiere die Grooming-Simulation zuließen und deshalb bei ihnen genügend komplette Versuchsmessungen zur Verfügung standen. Um diesen Kritikpunkt zu überprüfen, wurde in einem weiteren Auswertungsschritt nur die Änderung der Parameterwerte von der Vorphase (Intervall 10-15) zum HGET (Intervall 15-20) betrachtet. Mit dieser zeitlichen Begrenzung standen für die Analyse sehr viel mehr Tiere zur Verfügung, bei denen eine ausreichende Anzahl ($n \geq 6$) an Versuchsdurchgängen vorhanden waren, in denen die Tiere in beiden Intervallen durchgängig ruhig auf der Seite lagen. Damit konnte der Einfluß des HGET auch auf individueller Ebene betrachtet werden. Hierfür standen insgesamt 16 Tiere zur Verfügung, da auch bei 8 weiteren Tieren, die im Haltungsexperiment (s. 4.2) zur Stichprobe der Versuchstiere (Gruppierung) gehörten, nach Abschluß des Haltungsexperiments zwischen LW26 und LW29 wiederholt Grooming-Simulationen durchgeführt wurden (Testdurchgang zum eigentlichen Groomingexperiment, s. 3.5).

In Tab. 4-4 (S. 53) sind die relativen Änderungen der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 zwischen den Zeitintervallen 10-15 (Vorphase) und 15-20 (HGET) bei allen 16 Schweinen dargestellt. Die Tabelle ist ein Auszug aus den Tabellen A-10 bis A-12 (Anh. VIII-X), in denen neben den relativen Änderungen auch die absoluten Werte in den beiden 5-min-Intervallen, die

absoluten Intervalldifferenzen und die p-Werte des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests dargestellt sind.

Tab. 4-4: Individuelle relative Änderungen der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 zwischen den Zeitintervallen 10-15 (Vorphase) und 15-20 (HGET) bei allen 16 Schweinen. Median (\tilde{x}) und Standardfehler des Medians ($s\tilde{x}$) aus allen validen Änderungswerten jedes Tieres (jeweilige Anzahl: n). Anstieg: \uparrow , Abfall: \downarrow , Indifferent: \rightarrow ($|\tilde{x}| \leq |s\tilde{x}|$). Mit * gekennzeichnete Tiernummern: Tiere aus Abb. 4-5, S. 50. Statistik: Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, zweiseitig, Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$ (*), Tendenz (T): $,10 < p < ,05$, nicht signifikant (n.s.). Die Tabelle ist ein Auszug aus den Tabellen A-10 bis A-12, Anhang IX-XI.

Tier Nr. (n)	Relative Änderung der Herzschlagparameter im HGET im Vergleich zur Vorphase		
	HR ($\tilde{x} \pm s\tilde{x}$)	SD1 ($\tilde{x} \pm s\tilde{x}$)	SD2 ($\tilde{x} \pm s\tilde{x}$)
31 (7)	20,4 \pm 3,2 [%] \uparrow *	- 53,6 \pm 10,9 [%] \downarrow *	- 11,9 \pm 3,9 [%] \downarrow *
33 (8)	14,8 \pm 1,6 [%] \uparrow *	- 42,2 \pm 5,2 [%] \downarrow *	10,6 \pm 15,7 [%] \rightarrow n.s.
41 (7)	8,6 \pm 2,7 [%] \uparrow *	- 17,9 \pm 12,8 [%] \downarrow *	- 23,8 \pm 8,4 [%] \downarrow *
43 (8)	6,7 \pm 4,8 [%] \uparrow *	- 27,0 \pm 8,0 [%] \downarrow *	- 1,2 \pm 22,0 [%] \rightarrow n.s.
44 (8)	8,0 \pm 3,6 [%] \uparrow *	- 35,7 \pm 7,9 [%] \downarrow *	- 13,8 \pm 4,2 [%] \downarrow *
45 (6)	11,0 \pm 6,4 [%] \uparrow *	- 41,8 \pm 16,9 [%] \downarrow *	5,2 \pm 26,4 [%] \rightarrow n.s.
46 (7)	10,8 \pm 4,3 [%] \uparrow T	- 27,7 \pm 6,2 [%] \downarrow *	- 13,5 \pm 11,8 [%] \downarrow n.s.
51 (8)	6,7 \pm 0,6 [%] \uparrow T	- 18,7 \pm 6,3 [%] \downarrow *	- 32,2 \pm 10,9 [%] \downarrow *
61* (21)	8,2 \pm 0,6 [%] \uparrow *	- 46,0 \pm 6,6 [%] \downarrow *	- 3,9 \pm 7,6 [%] \rightarrow n.s.
62* (18)	6,7 \pm 1,5 [%] \uparrow *	- 48,3 \pm 7,1 [%] \downarrow *	- 20,4 \pm 5,4 [%] \downarrow *
72 (6)	9,9 \pm 5,4 [%] \uparrow *	- 44,6 \pm 9,3 [%] \downarrow *	- 2,2 \pm 13,5 [%] \rightarrow n.s.
74* (14)	21,7 \pm 2,7 [%] \uparrow *	- 24,8 \pm 9,3 [%] \downarrow *	- 2,9 \pm 13,9 [%] \rightarrow n.s.
77* (21)	14,5 \pm 0,5 [%] \uparrow *	- 30,9 \pm 5,9 [%] \downarrow *	6,2 \pm 10,8 [%] \rightarrow n.s.
78* (20)	13,2 \pm 2,7 [%] \uparrow *	- 33,0 \pm 5,4 [%] \downarrow *	- 7,8 \pm 6,9 [%] \downarrow *
82* (7)	8,8 \pm 1,1 [%] \uparrow *	- 27,1 \pm 7,6 [%] \downarrow *	6,1 \pm 19,4 [%] \rightarrow n.s.
91 (8)	8,7 \pm 1,2 [%] \uparrow *	- 29,8 \pm 12,7 [%] \downarrow *	- 42,9 \pm 20,1 [%] \downarrow T
alle (16)	9,4 \pm 1,4 [%] \uparrow *	- 31,9 \pm 4,3 [%] \downarrow *	- 3,4 \pm 5,4 [%] \rightarrow n.s.

Bei der **SD1** wurde der eindeutigste Effekt des HGET gefunden: Bei allen 16 Tieren wurde mit dem Wilcoxon-Paardifferenzen-Test eine signifikante Verringerung der SD1 im HGET gefunden (s. Tab. 4-4; p-Werte in Tab. A-11, Anh. X). Im Median aller Tiere betrug diese signifikante ($p = ,0004$) Verringerung $-31,9 \pm 4,3$ % (relative Intervalldifferenz), was einer Verringerung von $16,0 \pm 3,9$ ms in der Vorphase auf $10,3 \pm 1,5$ ms im HGET bei einer absoluten Intervalldifferenz von $-6,5 \pm 1,5$ ms entsprach (s. Tab. A-11, Anh. X). Beim Vergleich dieser Veränderung mit der in Abb. 4-5 (S. 50) dargestellten Veränderung der ‘kompletten’ Analyse mit nur 6 Tieren, ergab sich, daß bei der ‘Sechser-Stichprobe’ sehr ähnliche Werte gefunden wurden: relative Intervalldifferenz der SD1 = $-30,1 \pm 6,0$ %, SD1 in der Vorphase = $16,3 \pm 7,1$ ms, SD1 im HGET = $10,6 \pm 5,6$ ms (s. Tab. A-9b, Anh. VIII).

Bei der **HR** war der Effekt des HGET etwas weniger eindeutig als bei der SD1, da bei den Tieren Nr.46 und Nr.51 die Erhöhung der HR im HGET nur tendenziell signifikant war ($p = ,0630$ (Nr.46) u. $p = ,0929$ (Nr.51); Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A10, Anh. IX). Immerhin war die Erhöhung der HR im HGET bei den anderen 14 Tieren signifikant (Werte des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests in Tab. A10, Anh. IX). Im Median aller 16 Tiere erhöhte sich die HR im HGET signifikant ($p = ,0004$) mit einer relativen Intervalldifferenz von $-9,4 \pm 1,4 \%$, was in absoluten Werten einer Erhöhung von $92,0 \pm 2,0$ bpm in der Vorphase auf $103,4 \pm 1,8$ bpm im HGET bei einer absoluten Intervalldifferenz von $9,0 \pm 1,1$ bpm entsprach (s. Tab. A-10, Anh. IX). Wie bei der SD1 waren auch hier - wenn auch etwas weniger deutlich - die Werte denen der oben analysierten 'Sechser-Stichprobe' ähnlich: relative Veränderung der HR = $11,0 \pm 5,2 \%$, HR in der Vorphase = $89,6 \pm 3,9$ bpm, HR im HGET = $102,0 \pm 3,8$ bpm (s. Tab. A-9a, Anh. VII).

Bei der **SD2** wurde auch mit 16 Tieren kein eindeutiger Effekt durch die Grooming-Simulation gefunden. Bei 10 Tieren war die Richtung der Veränderung der SD2 von der Vorphase zum HGET indifferent (definiert als $|\tilde{x}| \leq |s\tilde{x}|$, s. Tab. 4-4, S. 53; Werte aus Tab. A-12, Anh. XI) und die p-Werte lagen über dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, Tab. A-12, Anh. XI). Immerhin wurde bei den anderen 6 Tieren (Nr.31, 41, 44, 51, 62 u. 78) eine signifikante Verringerung der SD2 im HGET gefunden (s. Tab. 4-4, S. 53; p-Werte des Wilcoxon-Paardifferenzen-Tests in Tab. A-12, Anh. XI). Jedoch war die relative Intervalldifferenz im Median aller 16 Tiere indifferent ($-3,4 \pm 5,4 \%$) und nicht signifikant ($p = ,1337$): die SD1 betrug im Median in der Vorphase $58,6 \pm 5,7$ ms und im HGET $54,6 \pm 6,1$ ms (s. Tab. A-12, Anh. XI). Die Werte waren aber wiederum denen der oben analysierten 'Sechser-Stichprobe' ähnlich: relative Veränderung der SD2 = $-5,1 \pm 7,0 \%$, SD2 in der Vorphase = $55,5 \pm 11,5$ ms, SD2 im HGET = $55,8 \pm 11,4$ ms (s. Tab. A-9c, Anh. VIII).

Diese auf die zwei wesentlichen 5-min-Intervalle (Vorphase und HGET) begrenzte Analyse mit 16 Tieren zeigte, daß es sich bei den Effekten der hier durchgeführten Grooming-Simulation auf die Parameter HR (Erhöhung bei 96,0 % von insgesamt 174 Änderungen von der Vorphase zum HGET), SD1 (Verringerung bei 96,0 %) und SD2 (indifferent; Verringerung 61,5 % : Erhöhung 38,5 %) um ein generelles Phänomen handeln dürfte. Die Ähnlichkeit der Ergebnisse dieser Analyse mit denen der weiter oben dargestellten Analyse der kompletten Versuchsmessungen mit nur 6 Tieren spricht dafür, daß diese 6 Tiere eine repräsentative Stichprobe darstellten und die anderen dort gefundenen HGET-Effekte (z.B. signifikante Nachwirkung des Effekts 5 min. nach Ende des HGET) ebenfalls generellen Charakter haben dürften.

Die Schweine zeigten während der Grooming-Simulation (HGET) die gleichen Verhaltensmuster, die auch bei 'natürlichem' Grooming zwischen zwei Schweinen beim Akzeptor beobachtet wurden, auch wenn nicht alle Verhaltensmuster immer bzw. gleichzeitig auftraten:

- Ablegen des Akzeptors (sofern er nicht wie bei den Versuchsmessungen bereits lag) bei Grooming (-Simulation) im Bauchbereich,
- Präsentation der entsprechenden Körperbereiche, z.B. Hochheben oder Wegziehen des oben

liegenden Beines, wenn der Akteur den Bauchbereich zwischen den Beinen massiert,

- geringer Muskeltonus
- Augen geschlossen,
- Oberlippe (Labium maxillare) seitlich hochgezogen,
- Rüsselscheibe seitlich zurückgezogen,
- Zunge hängt etwas aus dem Maul (selten),
- Nackenhaare aufgerichtet,
- 'Gänsehaut',
- Schmatzen bzw. schwach (!) ausgeprägtes Patschen inklusive Speichel schaumig schlagen,
- leise (Kontakt-)Grunzer.

Das Auftreten der gleichen Verhaltensmuster in der Grooming-Simulation und bei innerartlichem Grooming kann zwar ein Hinweis auf gleiche physiologische Reaktionen des Akzeptors sein, jedoch muß ein solcher Zusammenhang zwischen von außen beobachtbarem Verhalten und dem internen Zustand nicht zwangsläufig vorhanden sein. Um einen Hinweis zu bekommen, ob die oben dargestellten Ergebnisse der kardiophysiologischen Reaktionen auf die experimentelle Grooming-Simulation (HR: Erhöhung, SD1: Verringerung, SD2: indifferent) auch auf 'natürliches' innerartliches Grooming zutreffen, wurden als Vergleich zufällig erhaltene telemetrische Messungen von innerartlichem Grooming herangezogen. Die Messungen stammen von Versuchstieren des Haltungsexperiments nach der Gruppierung (22. bis 25. Lebenswoche). Die Anzahl an Messungen, während derer Grooming auftrat, war allerdings gering, da die Messungen zu Tageszeiten durchgeführt wurden, in denen die Tiere gewöhnlich ruhten (s. 4.2.2). Zudem war die Dauer der Grooming-Ereignisse meist kurz und die Qualität der Daten oft schlecht, da durch das Grooming oft die Meßgurte verrutschten, was zu Aussätzern bei der Messung führte. Wegen des geringen und oft schlechten Datenmaterials war eine statistische Auswertung nicht möglich.

Nachfolgend wurden eine Grooming-Simulation (Abb. 4-6, S. 56) und zwei innerartliche Grooming-Ereignisse, Tachogramme von Grooming-Akzeptor (Abb. 4-7, S. 57) bzw. Grooming-Akteur (Abb. 4-8, S. 59), miteinander verglichen. Die entsprechenden Werte der Parameter HR, SD1 und SD2 vor, während und nach dem Grooming und deren absolute und relative Veränderungen sind in Tab. 4-5 (S. 56) dargestellt

In dem Tachogramm in Abb. 4-6 (S. 56) ist der Effekt einer zehn-minütigen Grooming-Simulation auf die HR zu sehen. Die Aufnahme stammt aus der 28. Lebenswoche von Tier Nr.33 und wurde im Rahmen der Entwicklung des HGET-Versuchsdesigns im Anschluß an das Haltungsexperiment gemacht, als sich das Tier noch in Gruppenhaltung befand. Ein Vergleich der Parameterwerte bzw. ihrer Änderungen (s. Tab. 4-5, S. 56) mit denen anderer Tiere im HGET (s. Tab. 4-4, S. 53, bzw. Tab. A-10, A-11, A-12 im Anh. IX, X, XI) zeigte, daß hier eine typische kardiophysiologische Reaktion auf die Grooming-Simulation auftrat: eine Erhöhung der HR (7,4 bpm bzw. 8,2 %, s. Tab. 4-5) und eine Verringerung der SD1 (- 8,3 ms bzw. - 43,7 %, s. Tab. 4-5). Die Verringerung der SD2 (- 4,7 ms bzw. - 7,2 %, s. Tab. 4-5) war ver-

glichen mit den SD2-Veränderungen von 16 Schweinen in Tab. A-12 (Anh. XI) eher mittelmäßig ausgeprägt (das Kriterium 'indifferente Veränderung' (s. Tab. 4-4, S. 53), definiert als $|\tilde{x}| \leq |s\tilde{x}|$, konnte auf einen einzelnen Werte naturgemäß nicht angewendet werden).

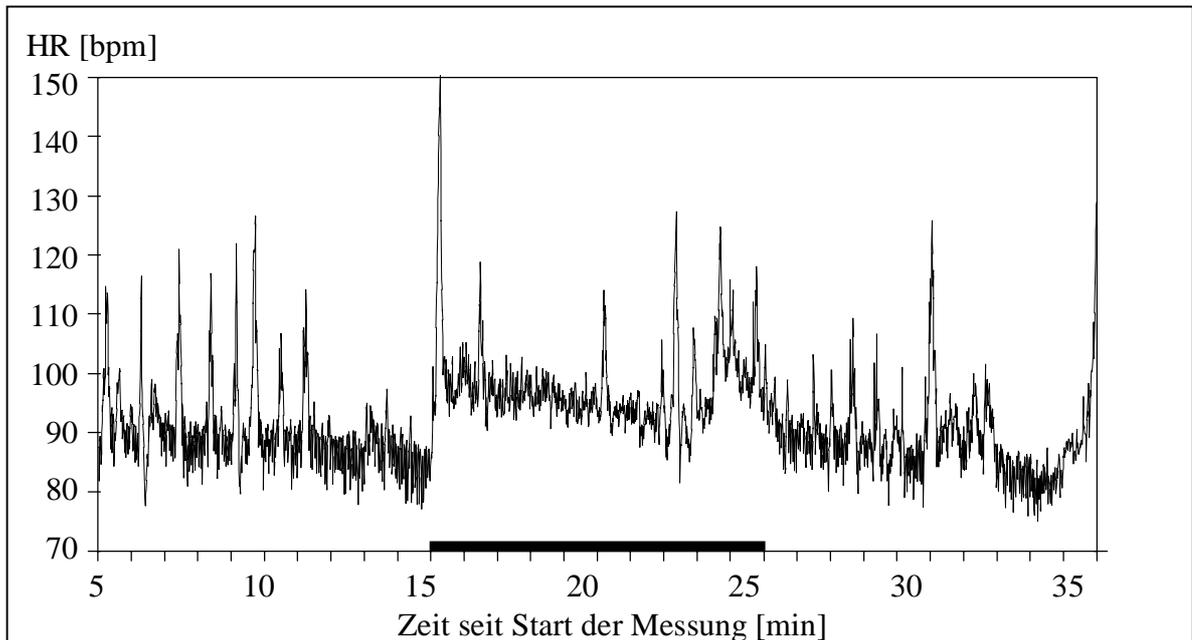
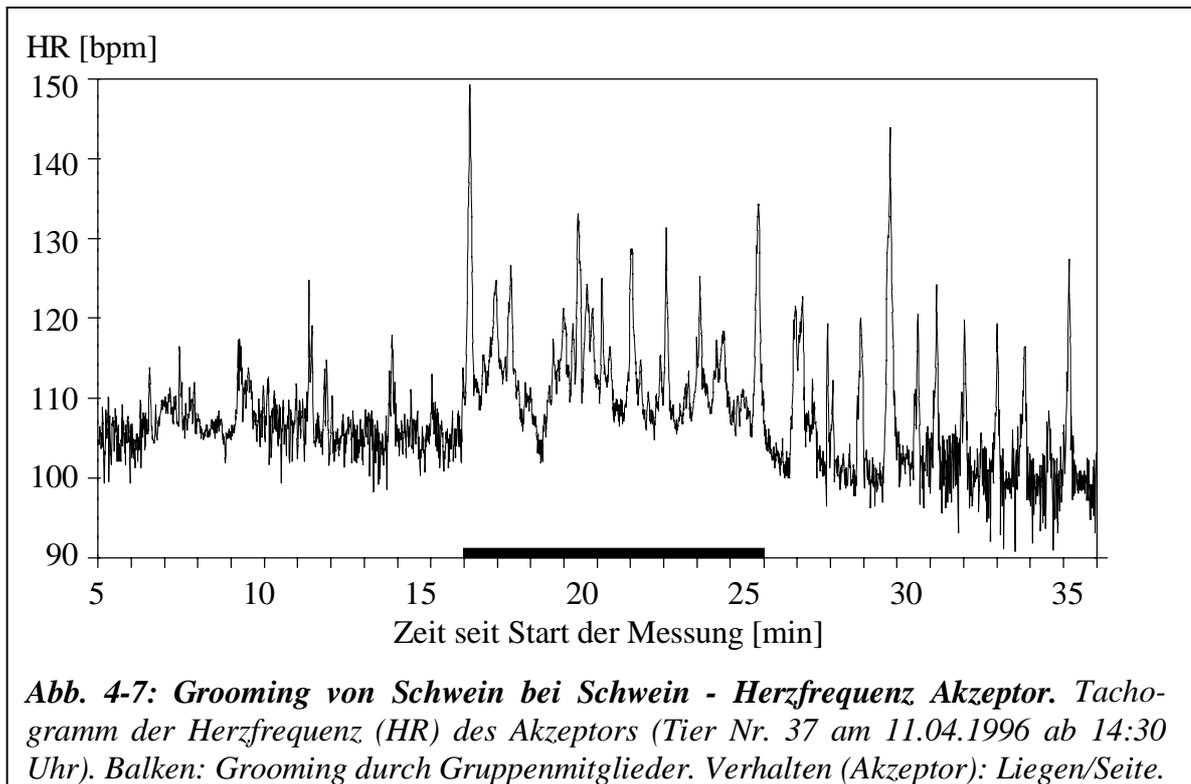


Abb. 4-6: Grooming-Simulation von Mensch bei Schwein - Herzfrequenz Akzeptor. Tachogramm der Herzfrequenz (HR) des Akzeptors (Tier Nr. 33 am 15.05.1996 ab 11:00 Uhr). Balken: Grooming-Simulation (HGET). Verhalten (Akzeptor): Liegen/Seite.

Tab. 4-5: Herzschlagparameter für die Tachogramme in Abb. 4-6 (S. 56), 4-7 (S. 57) und 4-8 (S. 59). HR, SD1 und SD2 vor, während und nach Grooming und absolute (und relative) Änderungen der Werte (Zunahme: ↑, Abnahme: ↓). Verhalten: Liegen/Seite.

Grooming bei	Parameter	vorher	Absolute (Relative)	während	Absolute (Relative)	nachher
Schwein (Akzeptor) von Mensch (s. Abb. 4-6)	Zeit [min ^s]	5 ⁰⁰ -15 ⁰⁰		15 ⁰⁰ -25 ⁰⁰		25 ⁰⁰ -35 ⁰⁰
	HR [bpm]	90,5	7,4 (8,2%) ↑	97,9	- 8,6 (-8,8%) ↓	89,3
	SD1 [ms]	19,0	- 8,3 (-43,7%) ↓	10,7	6,8 (63,6%) ↑	17,5
	SD2 [ms]	65,3	- 4,7 (-7,2%) ↓	60,6	5,3 (8,7%) ↑	65,9
Schwein (Akzeptor) von Schwein (s. Abb. 4-7)	Zeit [min ^s]	5 ⁰⁰ -16 ⁰⁰		16 ⁰⁰ -25 ⁰⁰		25 ⁰⁰ -35 ⁰⁰
	HR [bpm]	106,8	5,8 (5,4%) ↑	112,6	- 8,4 (-7,5%) ↓	104,2
	SD1 [ms]	7,2	- 2,5 (-34,7%) ↓	4,7	6,2 (131,9%) ↑	10,9
	SD2 [ms]	21,1	19,8 (93,8%) ↑	40,9	8,6 (21,0%) ↑	49,5
Schwein (Aktor) bei Schwein (s. Abb. 4-8)	Zeit [min ^s]	5 ⁰⁰ -15 ⁴⁵		15 ⁴⁵ -31 ³⁰		31 ³⁰ -38 ³⁰
	HR [bpm]	99,5	10,8 (10,9%) ↑	110,3	- 8,8 (-8,0%) ↓	101,5
	SD1 [ms]	36,6	- 24,2 (-66,0%) ↓	12,4	16,9 (136,0%) ↑	29,3
	SD2 [ms]	72,0	- 25,5 (-35,4%) ↓	46,5	15,0 (32,3%) ↑	61,5



In dem Tachogramm in Abb. 4-7 ist der Effekt von neun-minütigem Grooming durch alle anderen Gruppenmitglieder (nacheinander) auf die HR von Tier Nr.37 als Akzeptor (Grooming an Bauch und Kopf) zu sehen. Der Effekt dieses innerartlichen Groomings auf die HR und die SD1 des Akzeptors war in der Richtung der Veränderung identisch mit dem oben beschriebenen Effekt durch Grooming-Simulation: die HR erhöhte sich um 5,8 bpm (bzw. 5,4 %), die SD1 verringerte sich um - 2,5 ms (bzw. - 34,7 %).

Da bei Tier Nr.37 keine Grooming-Simulationen (HGET) durchgeführt wurden, war kein intraindividuellem Vergleich möglich. Ein Vergleich auf interindividueller Ebene zeigte aber, daß die Stärke der Veränderungen von HR und SD1 mit den Veränderungen in den Grooming-Simulationen (Tab. 4-4, S. 53) vergleichbar war, obwohl die Erhöhung der HR am Minimum der Medianwerte der 16 Tiere in Tab. A-10 (Anh. IX) lag (Tier 62 hatte im Median die minimale Intervalldifferenz bei der HR: absolut = $5,6 \pm 1,3$ bpm, relativ = $6,7 \pm 1,5$ %). Allerdings darf diese scheinbar am unteren Rand der Verteilung liegende HR-Veränderung von Tier Nr.37 nicht überbewertet werden, da hier eine Einzelmessung mit Medianwerten verglichen wurde.

Dies wird besonders deutlich, wenn man die Veränderung der SD2 betrachtet: bei diesem Beispiel innerartlichen Groomings erhöhte sich die SD2 absolut um 19,8 ms und relativ um 93,8 % (Tab. 4-5, S. 56), was deutlich höher als die Medianwerte aller 16 Tiere in der Grooming-Simulation war (s. Tab. A-12, Anh. XI; Tier 91 hatte im Median die maximale Intervalldifferenz bei der SD2: absolut = $12,0 \pm 9,1$ ms, relativ = $42,9 \pm 20,1$ %). Eine derartig starke Erhöhung der SD2, wie dies hier als Reaktion auf innerartliches Grooming bei Tier Nr.37 auftrat, wurde aber auch bei einzelnen Grooming-Simulationen gefunden. Eine Auswahl an der SD2-Erhöhung von Tier Nr.37 ähnlichen Einzelmessungen ist in Tab. 4-6 (S. 58) aufge-

listet. Die Werte zeigen, daß auch bei Grooming-Simulationen 'extreme' Einzelmessungen auftraten (man beachte: SD2- Werte von Tier Nr.61 am 21.2.1997 in Tab. 4-6 fast identisch mit SD2-Werten von Tier Nr.37 in Tab. 4-5, S. 56), auch wenn die Veränderung des Parameters im Median (letzte Zeile in Tab. 4-6) eher 'durchschnittlich' war (letzte Zeile in Tab. 4-5, S. 56 bzw. Tab. A-12, Anh. XI).

Tab. 4-6: Ausgewählte Versuchsmessungen (HGET) von Tier Nr.61. Werte der HR, SD1 und SD2 in den 5-min-Intervallen vor und während den HGETs an drei ausgewählten Tagen, absolute (δ) und relative (δ [%]) Differenz zwischen den beiden Intervallen. Das Auswahlkriterium war: ähnlich starke Zunahme der SD2 im HGET wie in mittlerer Rubrik der Tab. 4-5, S. 56 (Werte aus Abb. 4-7, S. 57). Die unten angegebenen Medianwerte (\tilde{x}) beziehen sich auf alle ($n = 21$) Versuchsmessungen von Tier Nr.61 (s. Tab. A-10, A-11, A-12 in Anh. IX, X, XI).

Nr.61	HR [bpm]				SD1 [ms]				SD2 [ms]			
	vorher HGET		δ	δ [%]	vorher HGET		δ	δ [%]	vorher HGET		δ	δ [%]
12.2.1997	124,5	132,5	8,0	6,4	5,0	3,4	-1,6	-33,6	15,8	34,8	19,0	120,3
20.2.1997	102,6	109,1	6,5	6,3	5,3	3,4	-1,9	-35,8	22,3	41,6	19,3	86,5
21.2.1997	103,4	102,7	-0,7	-0,7	6,1	3,6	-2,5	-41,0	21,1	40,8	19,7	93,4
\tilde{x} (alle)	100,2	104,9	7,7	8,2	7,9	4,2	-3,4	-46,0	37,9	40,0	-1,3	-3,9

Das Tachogramm von Tier Nr.37 in Abb. 4-7 (S. 57) wurde ausgewählt, weil hier sowohl eine lange Groomingphase, als auch eine lange Vor- und Nachphase für die Auswertung zur Verfügung standen, in denen das Tier durchgehend ruhig auf der Seite lag.

Tab. 4-7: Veränderungen der Herzschlagparameter in drei innerartlichen Grooming-Situationen bei Tier Nr.35 (Akzeptor). HR, SD1 und SD2 vor, während und nach Grooming und absolute (und relative) Änderungen der Werte (Anstieg: \uparrow , Abfall: \downarrow). Dauer Vor- und Nachphase: jeweils 5 min, Dauer Grooming: Abhängig vom Aktor. Verhalten: Liegen/Seite.

Aktor	Parameter	vorher	Absolute (Relative)		während	Absolute (Relative)		nachher
Tier Nr.48 (05.04.1996)	Zeit [min ^s]	15 ⁵² -20 ⁵²			20 ⁵² -24 ³⁸			24 ³⁸ -29 ³⁸
	HR [bpm]	97,6	2,4 (2,5%)	\uparrow	100,0	- 9,2 (-9,2%)	\downarrow	90,8
	SD1 [ms]	16,2	- 5,3 (-32,7%)	\downarrow	10,9	14,9 (136,7%)	\uparrow	25,8
	SD2 [ms]	73,5	- 30,7 (-41,8%)	\downarrow	42,8	38,0 (88,8%)	\uparrow	80,8
Tier Nr.38 (12.04.1996)	Zeit [min ^s]	2 ¹⁵ -7 ¹⁵			7 ¹⁵ -13 ³¹			13 ³¹ -18 ³¹
	HR [bpm]	87,6	3,6 (4,1%)	\uparrow	91,2	- 12,1 (-13,3%)	\downarrow	79,1
	SD1 [ms]	38,1	- 17,6 (-46,2%)	\downarrow	20,5	40,7 (198,5%)	\uparrow	61,2
	SD2 [ms]	85,3	- 6,4 (- 7,5%)	\downarrow	78,9	6,3 (8,0%)	\uparrow	85,2
Tier Nr.38 (19.04.1996)	Zeit [min ^s]	5 ²⁶ -10 ²⁶			10 ²⁶ -18 ⁰⁷			18 ⁰⁷ -23 ⁰⁷
	HR [bpm]	84,2	13,2 (15,7%)	\uparrow	97,4	- 3,8 (-3,9%)	\downarrow	93,6
	SD1 [ms]	39,6	- 21,3 (-53,8%)	\downarrow	18,3	2,9 (15,8%)	\uparrow	21,2
	SD2 [ms]	66,5	- 7,9 (-11,9%)	\downarrow	58,6	10,0 (17,1%)	\uparrow	68,6

Um zu zeigen, daß die hier gefundenen Veränderungen der Herzschlagparameter während innerartlichen Groomings keine Ausnahme waren, wurden in Tab. 4-7 (S. 58) die Veränderungen der Herzschlagparameter durch innerartliches Grooming bei Tier Nr.35 (Akzeptor) aus drei telemetrischen Messungen dargestellt, wobei die Groomingphasen jedoch kürzer waren (3:46, 6:16, 7:41 [min:s]) und nur jeweils 5 min der Vor- und Nachphase ausgewertet werden konnten, in denen das Tier ruhig auf der Seite lag. Der Effekt dieses innerartlichen Groomings auf die HR und die SD1 von Tier Nr.35 war ebenfalls in der Richtung der Veränderung identisch mit dem oben beschriebenen Effekt durch Grooming-Simulation: Zunahme der HR und Abnahme der HRV-Parameter SD1 und SD2 (Werte s. Tab. 4-7, S. 58). Da auch bei Tier Nr.35 keine Grooming-Simulationen (HGET) durchgeführt wurden, war ebenfalls kein intraindividueller Vergleich möglich. Auf interindividueller Ebene war die Stärke der Veränderungen von HR, SD1 und SD2 beim innerartlichen Grooming mit den Veränderungen in den Grooming-Simulationen (Tab. 4-5, S. 56, bzw. Tab. A-10 bis A-12, Anh. IX-XI) durchaus vergleichbar.

Der Vollständigkeit halber wurde noch das Tachogramm der HR eines Grooming-Aktors dargestellt (Abb. 4-8). Vergleichbar der Stärke der Reaktion beim Grooming-Akzeptor, sei es auf die Simulation von Grooming (Abb. 4-6, S. 56 bzw. Tab. 4-4, S. 53) oder auf 'natürliches' innerartliches Grooming (Abb. 4-7, S. 57), führte hier Grooming auch beim Akteur zu einer Erhöhung der HR um 10,8 bpm (10,9 %) und einer Verringerung der SD1 um - 24,2 ms (- 66,0 %) (s. Tab. 4-5, S. 56). Die hier gefundene Verringerung der SD2 um - 25,5 ms (- 35,4 %) muß vor dem Hintergrund der eher indifferenten Veränderung der SD2 in der Grooming-Simulation bei Berücksichtigung aller Messungen aller Tiere gesehen werden (s. Tab. 4-4, S. 53).

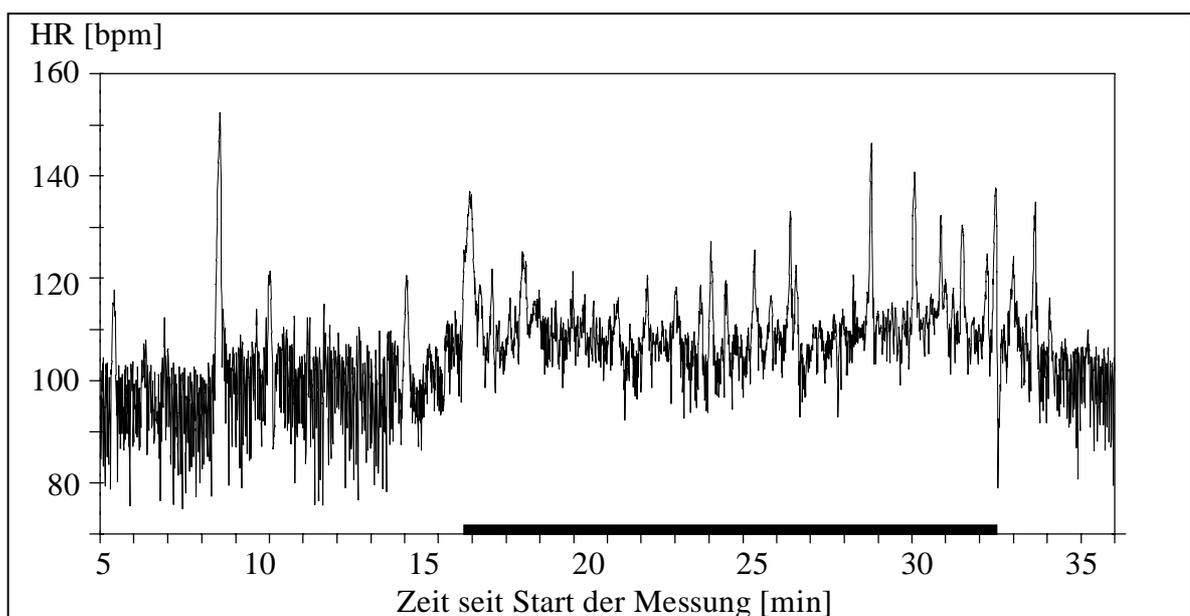


Abb. 4-8: Grooming von Schwein bei Schwein - Herzfrequenz Akteur. Tachogramm der Herzfrequenz (HR) des Aktors (Tier Nr. 39 am 26.04.1996 ab 12:05 Uhr). Balken: Grooming bei Tier Nr. 53 (Akzeptor). Verhalten (Akteur): Liegen/Seite (während Grooming abwechselnd Liegen/Seite und Liegen/Bauch).

4.3.3 Langfristige Effekte der Grooming-Simulationen auf die basalen Parameterwerte

An dieser Stelle wurde der Frage nachgegangen, ob die regelmäßigen Grooming-Simulationen (HGET) in der 26. und 27. Lebenswoche - neben den unmittelbaren (s. 4.3.2) - auch langfristige Effekte hatten, d.h. ob die basalen Werte der Parameter HR, SD1 und SD2 auch außerhalb der Grooming-Experimente durch diese verändert wurden.

Als Datengrundlage dienten die Wochenmediane aller validen Intervalle 5-10 und 10-15 [in min. ab Meßbeginn] von 8 Schweinen (im Gegensatz zu 4.3.2 konnten hier die Daten von allen 8 Tieren verwendet werden) in den Lebenswochen LW20 bis LW27. Die verwendeten 5-min-Intervalle der telemetrischen Messungen konnten als vom HGET unbeeinflusste Messungen betrachtet werden, da der HGET in LW26 und LW27 immer im darauf folgenden Intervall (15-20) durchgeführt wurde. Aufgrund der unter 4.2.4 gefundenen altersabhängigen Veränderungen der Parameter (insbesondere der HR), die eine Interpretation altersunabhängiger Veränderungen durch experimentelle Einflüsse anhand der absoluten Werte erschweren, wurden in Abb. 4-9 (S. 61) die Änderungen der Parameterwerte HR, SD1 und SD2 zur Vorwoche dargestellt (Änderungswerte und zugrunde liegende absolute Werte in Tab. A-14b-d, Anh. XIII u. XIV). Anmerkung: Leichte Unterschiede zu Abb. 4-3 (S. 43) in LW21 bis LW25 sind auf die andere Datengrundlage für individuelle Wochenmediane zurückzuführen (*alle* validen 5-min-Intervalle ab Intervall 10-15 der telemetrischen Messungen, s. 3.3).

Wie bereits von den Ergebnissen aus dem Haltungsexperiment bekannt (s. 4.2.4, Abb. 4-3, S. 43), blieb die Änderung der Werte zur Vorwoche bei allen drei Parametern HR, SD1 und SD2 von LW21 bis LW25 in etwa gleich (s. Abb. 4-9, S. 61; Werte in Tab. A-14b-d, Anh. XIII u. XIV), zumindest wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden (p-Werte in Tab. A-13, Anh. XII). Die wöchentliche Änderung war bei der HR am stärksten ausgeprägt, die von SD1 und SD2 war geringer, was sich auch in der Anzahl signifikanter Unterschiede zwischen den Lebenswochen bei den absoluten Werten bestätigte (s. Tab. A-13, Anh. XII).

In LW26, der ersten Woche mit regelmäßigen Grooming-Simulationen, war bei keinem Parameter ein Einfluß der Experimente auf deren basale (unbeeinflusste) Werte festzustellen: Die Höhe der Änderung zur Vorwoche unterschied sich nicht von den Änderungen in den vorangegangenen Lebenswochen (s. Abb. 4-9, S. 61; Werte in Tab. A-14b-d, Anh. XIII u. XIV; p-Werte in Tab. A-13, Anh. XII). Ganz anders das Bild in der zweiten Woche der HGET-Experimente (LW27): die HR verringerte sich im Vergleich zur Vorwoche um $-8,9 \pm 3,5$ bpm (Tab. A-14b, Anh. XIII), die SD1 erhöhte sich zur Vorwoche um $9,6 \pm 3,5$ ms (Tab. A-14c, Anh. XIV) und bei der SD2 betrug die Erhöhung $14,0 \pm 2,4$ ms (Tab. A-14d, Anh. XIV). Diese Veränderungen unterschieden sich bei allen drei Parametern signifikant von denen aller vorangegangenen Lebenswochen (s. jeweilige Signifikanzmatrix in Abb. 4-9, S. 61; p-Werte in Tab. A-13, Anh. XII).

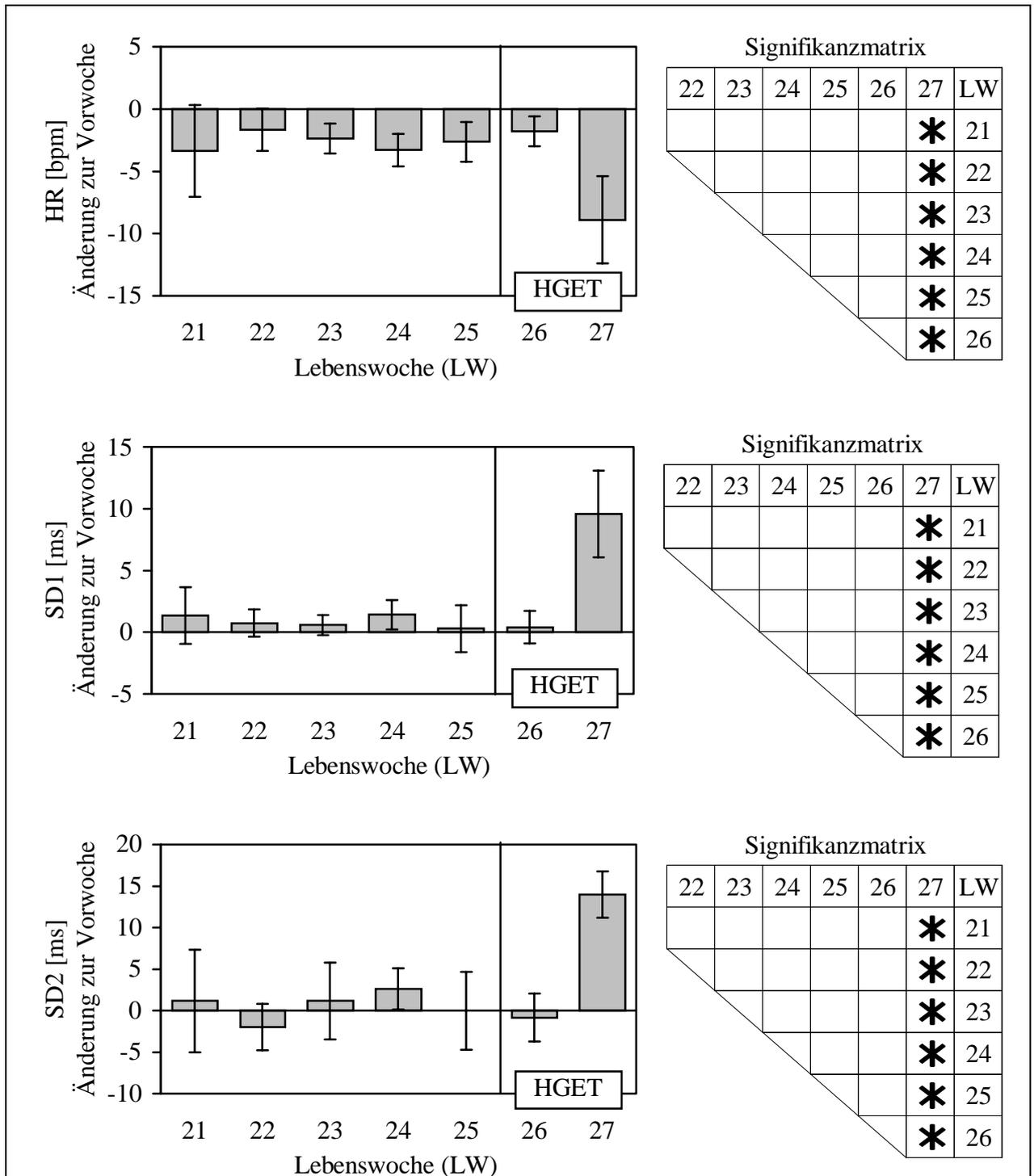


Abb. 4-9: Langfristige Effekte regelmäßiger Grooming-Simulationen (HGET) auf die Änderung der basalen Werte der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 zur Vorwoche. Dargestellt sind jeweils Mediane (\tilde{x}) und deren Standardfehler ($s_{\tilde{x}}$) der Wochenmediane aus unbeeinflussten 5-min-Intervallen (Intervalle 5-10 und 10-15 der telemetrischen Messungen) von 8 Schweinen in Einzelhaltung. In LW26 und LW27 wurde bei jedem Tier dreimal täglich an vier Tagen je Woche Grooming simuliert (HGET, jeweils in Intervall 15-20). Werte aus Tab. A-14b-d, Anh. XIII u. XIV. Statistisch signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$; mit * gekennzeichnet): LW vs. LW, * in Signifikanzmatrix (Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, zweiseitig; Werte aus Tab. A-13, Anh. XII).

5 Diskussion

5.1 Methodische Diskussion

5.1.1 Motorische Einflüsse

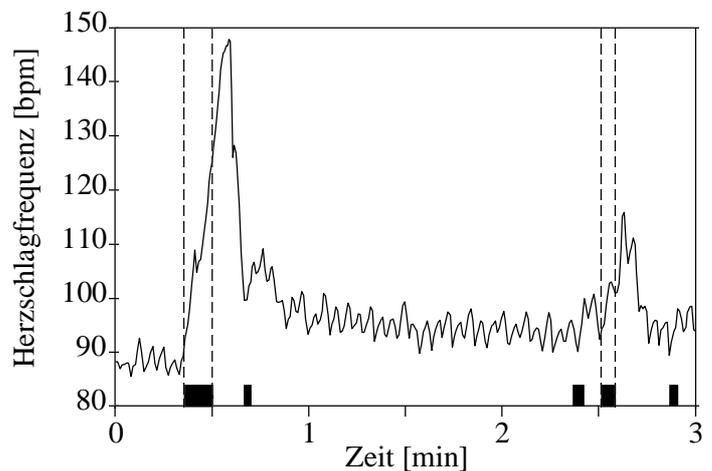
Die Ausprägung der HR(V) ist eng mit dem Verhalten gekoppelt, insbesondere mit jenen Verhaltensmustern, die mit der körperlichen Aktivität eines Organismus zusammenhängen (BALDOCK und SILBY 1990, DRESSEN et al. 1990, PRICE und SILBY 1993, HARRI et al. 1994, HOPSTER et al. 1998). Diese sogenannte motorische oder physikalische Komponente wird oft einer nicht-motorischen oder psychologischen Komponente gegenübergestellt (BALDOCK et al. 1988, BALDOCK und SILBY 1990, PRICE et al. 1993). PRICE et al. (1993) fanden bei Rothirschen zwischen einzelnen Verhaltensmustern Unterschiede in der HR, die z.T. nur im Bereich von 2 bpm lagen, wobei hinzugefügt werden muß, daß die Daten nicht statistisch getestet wurden.

BALDOCK et al. (1988) und SCHOUTEN et al. (1991) verwendeten zur Korrektur des Einflusses der motorischen Komponente auf die HR eine multiple Regression, wobei diese Methode von SCHOUTEN (pers. Mitt. 1996) mittlerweile als „nicht besonders zufriedenstellend“ eingeschätzt wird. Zur Beurteilung der nicht-motorischen Komponente der HR empfiehlt SCHOUTEN (pers. Mitt. 1996) eine direkte zeitliche Kopplung von HR und verschiedenen Verhaltensmustern. Für den Vergleich der nicht-motorischen Komponente der HR unter verschiedenen Bedingungen (z.B. mit und ohne Stressor) sollten dann nur HR-Mittelwerte von jeweils gleichen Verhaltensmustern verglichen werden. Diese Vorgehensweise setzt allerdings voraus, daß unter beiden Bedingungen die gleichen Verhaltensmuster in ausreichender Menge gezeigt werden. Meist werden als Reaktion auf Stressoren jedoch Verhaltensmuster gezeigt, die unter 'normalen' Bedingungen gar nicht auftreten.

Bei der direkten zeitlichen Kopplung von ethologischen Daten mit Herzschlagparametern besteht zudem ein Inkompatibilitätsproblem. So fanden BALDOCK et al. (1988) bei Schafen einen Anstieg der HR bereits vor einem Verhaltensmusterwechsel, was sie allerdings aufgrund geringen Datenmaterials nicht eindeutig statistisch belegen konnten. Dieser sogenannte 'Erwartungsanstieg' der HR wurde auch bei Pferden gefunden (s. 2.3). Möglicherweise dient die vorzeitige HR-Erhöhung der metabolen Vorbereitung des Organismus auf die erhöhte Belastung durch das folgende Verhaltensmuster. Da einerseits eine Erhöhung der HR über die intrinsische Herzschlagrate des Sinusknotens (s. 2.4) generell durch eine Erhöhung der sympathischen Aktivität hervorgerufen wird (HAINSWORTH 1995) und andererseits eine Reaktion des Herzens auf eine sympathische Stimulation erst nach einer Verzögerung von bis zu fünf Sekunden auftritt und die maximale Reaktion nach progressivem Anstieg erst nach 20 bis 30 Sekunden erreicht wird (HAINSWORTH 1995, MALLIANI 1995), ist eine vorzeitige Erhöhung der HR vor allem dann biologisch sinnvoll, wenn Verhaltensmuster mit hoher motorischer Aktivität schnell ausgeführt werden sollen, z.B. bei der Vorbereitung der Fluchtreaktion wenn potentielle Predatoren eine bestimmte Distanz unterschreiten (s. 2.3).

Die Inkompatibilität zwischen Verhalten und Herzschlag ist insbesondere bei nur kurz dauernden Verhaltensmustern von Bedeutung. Ein Beispiel hierfür ist in Abb. 5-1 dargestellt: Schweine zeigen, wie auch andere Tiere und der Mensch, regelmäßiges Strecken des Körpers und der Extremitäten wenn sie länger ruhig liegen. Durch diese regelmäßige Muskelkontraktion wird der venöse Rückstrom des Blutes zum Herzen gefördert, der in Folge der ruhebedingten Inaktivität der sogenannten Muskelpumpe reduziert ist (WITZLEB 1977, MÖRIKE 1989). An dem Tachogramm wird deutlich, daß die maximale Reaktion der Herzschlagfrequenz erst einige Sekunden nach Beendigung des Verhaltensmusters 'strecken' erreicht wurde. Die Ursache hierfür ist vermutlich, daß die Reaktionszeit des Sympathikus (s.o.) länger als das 'auslösende' Verhalten ist. Ein 'Erwartungsanstieg' der HR vor dem Verhaltensmuster 'strecken' ist in dem Tachogramm in Abb. 5-1 nicht erkennbar (sekundengenaue (!) Kopplung der telemetrischen Messung mit der Videoauswertung des Verhaltens, s. 3.2); möglicherweise ist er nur bei der metabolen Vorbereitung auf stark erhöhte Belastungen des Organismus von Bedeutung (s.o.).

Abb. 5-1: Inkompatibilität der Synchronisation von Herzschlagfrequenz und kurzen Verhaltensmustern bei direkter zeitlicher Kopplung. Tachogramm eines ruhig auf der Seite liegenden Haus Schweins. Die Balken kennzeichnen die Zeiten, in denen sich das Tier kurz streckte. Die maximale Reaktion der Herzschlagfrequenz ist erst einige Sekunden nach Beendigung des Verhaltensmusters erreicht.



Diese Inkompatibilität dürfte - zumindest theoretisch - auch für alle anderen möglichen Verhaltensmusterwechsel gelten. Sie wird für die Interpretation von Herzschlagparametern vor allem dann zu einem Problem, wenn die Verhaltensmuster sehr kurz sind. Um so länger ein Verhaltensmuster andauert, um so geringer ist der Einfluß der Inkompatibilität betrachtet auf die Gesamtdauer des Verhaltensmusters. Deshalb bieten sich für eine HR-Analysen insbesondere lang anhaltende Verhaltensmuster an.

Soll neben der HR auch die HRV untersucht werden, besteht zudem eine methodische Notwendigkeit für die Verwendung lang anhaltender Verhaltensmuster. Während zur Berechnung der HR im Prinzip ein RR-Intervall ausreicht, benötigt man für die Analyse der komplexen Schwingungscharakteristiken der HRV (s. 2.6) deutlich längere Meßzeiten. Um eine Standardisierung in der HRV-Analyse für den Vergleich von Ergebnissen aus verschiedenen Studien zu gewährleisten, empfiehlt die TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY AND THE NORTH AMERICAN SOCIETY OF PACING AND ELECTROPHYSIOLOGY (1996) die Analyse von

HRV-Parametern aus fünfminütigen Zeitintervallen aufeinanderfolgender RR-Intervalle, die unter stationären (gleichbleibenden) Bedingungen gemessen wurden.

Daher wurden in dieser Studie die HR und die HRV-Parameter SD1 und SD2 nur aus jenen 5-min-Intervallen berechnet, in denen die Tiere ruhig auf der Seite lagen¹ (s. 3.3). Dieses Verhaltensmuster war für diese Untersuchung besonders geeignet, da

1. die Schweine unter den gewählten Haltungsbedingungen (s. 3.1) den mit Abstand größten Anteil an der Gesamtzeit ruhig auf der Seite lagen und deshalb eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür bestand, daß von jedem Tier genügend valide fünf-minütige Zeitintervalle für die Berechnung der Wochenmediane zur Verfügung standen (s. 3.3),
2. 'ruhig auf der Seite liegen' das Verhaltensmuster mit der geringsten motorischen Komponente (s.o.) ist, weshalb
3. die Wochenmediane der HR, SD1 und SD2 als basale Werte des internen physiologischen Status im Sinne eines 'metabolen Grundzustandes' betrachtet werden können und
4. Veränderungen der basalen Werte daher maßgeblich psycho-physischer Natur sein dürften,
5. dieses Verhaltensmuster in dieser Studie in jedem Experiment in ausreichender Menge auftrat, was insbesondere bei der Untersuchung der kurzfristigen (unmittelbaren) Effekte der Grooming-Simulationen (HGET) wichtig war, da die (meisten) Schweine sowohl im HGET als auch in der Vor- und Nachphase bei genügend telemetrischen Messungen durchgängig (5 bis 35 min ab Meßbeginn) ruhig auf der Seite lagen (s. 4.3.2),
6. der Vagustonus beim ruhenden Organismus besonders hoch ist, weshalb die SD1, welche den Vagustonus abbildet (s. 2.10), unter dieser Bedingung aufgrund ihrer potentiell großen Reaktionsbreite als Belastungsparameter besonders geeignet ist (s. 2.9).

5.1.2 Individualität

Die Individualität hat starken Einfluß auf die HR (WILKINSON et al. 1972, KINDLON et al. 1995, MOODY et al. 1996, WEBSTER und JONES 1998) und die HRV (AKSELROD 1995, CLEMENT und BARREY 1995b, THAYER et al. 1997). Trotz der großen interindividuellen Unterschiede zeigen viele HRV-Parameter eine sehr gute intraindividuelle Reproduzierbarkeit bei wiederholten Messungen (wichtig: die Abstände zwischen den Messungen sollten kurz sein, um altersabhängige Veränderungen auszuschließen; s. u.), wenn sie über größere Zeiträume (z.B. 24 Stunden) gemittelt werden (HUIKURI et al. 1990, KLEIGER et al. 1991, PIVIK et al. 1996). Unter 2.3 wurde bereits auf einige der direkten (z.B. genetischer Einfluß) und indirekten (z.B. soziale Position) Faktoren eingegangen, welche die Individualität bestimmen und die HR(V) beeinflussen können.

¹ Hier wurde 'Liegen' und 'Strecken' nicht getrennt, sondern auf einer höheren Ebene der Verhaltensmustersotypisierung gemessen: ruhig auf der Seite liegen im Sinne von allgemeiner motorischer Inaktivität, egal ob Augen zu oder auf. Da 'Strecken' in erster Linie dem venösen Rückstrom des Blutes zum Herzen dient, sollte die Auftrittshäufigkeit intra- und interindividuell in allen validen 5-min-Intervallen vergleichbar sein, womit auch der Effekt auf die untersuchten Herzschlagparameter ausgeglichen sein sollte. Eine starke Erhöhung der HR nach dem Muster 'strecken' wie im ersten Peak in Abb. 5.1 war eher die Ausnahme, welche zur besseren Verdeutlichung des Inkompatibilitätsproblems gewählt wurde. Üblicherweise war die Auswirkung von 'strecken' auf die HR eher gering, was auch an den nachfolgenden Peaks in Abb. 5.1 deutlich wird.

Individuelle Unterschiede haben zwei wesentliche Effekte (MARTIN und KRAEMER 1987):

- (1) Die statistische Aussagekraft ist reduziert, in dem Sinne, daß generelle Effekte schwieriger zu erkennen sind, und
- (2) Aussagen über Gruppen müssen nicht auf alle Individuen einer Gruppe zutreffen bzw. kann es schwierig sein, aus individuellen Messungen auf Gruppencharakteristiken zu schließen.

Werden potentielle individuelle Unterschiede (vor allem in der Richtung der Veränderung) nicht beachtet, kann dies leicht zu einer falschen Interpretation der Ergebnisse führen. Diese Problematik soll anhand der konstruierten Fallbeispiele in Tab. 5-1 verdeutlicht werden.

Tab. 5-1: Konstruierte Fallbeispiele.

A = Ausgangssituation

B, C = Endsituationen

I-VI = Modelltiere

MWUT = Mann-Whitney U-Test

WPT = Wilcoxon-Paardifferenzen-Test

p-Werte für zweiseitige Tests:

** = signifikant (fett)*

^{ns} = nicht signifikant

Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$

(Erklärungen im Text)

Tier	Fallbeispiele			B-A	C-A
	A	B	C		
I	6,0	10,5	6,5	4,5	0,5
II	9,0	8,5	9,5	-0,5	0,5
III	5,0	10,5	5,5	5,5	0,5
IV	8,0	7,5	8,5	-0,5	0,5
V	6,0	11,0	6,5	5,0	0,5
VI	7,0	9,5	7,5	2,5	0,5
Median	6,5	10,0	7,0	3,5	0,5
Vergleich	A vs. B		A vs. C		
p (MWUT)	,016*		,588 ^{ns}		
p (WPT)	,116 ^{ns}		,027*		

Das konstruierte Fallbeispiel A ist die Ausgangssituation, B und C zwei konstruierte Endsituationen, z.B. nach einer Veränderung der Umwelt der Modelltiere I-VI.

Im Vergleich zu A ist der Median der Werte in B deutlich erhöht. Handelt es sich in A und B um Werte der *selben* Individuen, so wird diese Erhöhung nur durch 4 Tiere hervorgerufen, wogegen 2 Tiere (II und IV) eine schwache Abnahme der Werte von A nach B zeigen. Daher ergibt der Wilcoxon-Paardifferenzen-Test auch keinen signifikanten Unterschied ($p = ,116$), was den individuell verschiedenen Veränderungsrichtungen biologisch sinnvoll entspricht: z.B. könnte die Abnahme von A nach B bei II und IV mit dem sozialen Status dieser beiden Modelltiere zusammenhängen. Wenn dagegen die Werte aus A und B von *verschiedenen* Tieren stammen (z.B. Versuchs- und Kontrolltiere), so ergibt der Mann-Whitney U-Test durchaus einen signifikanten Unterschied ($p = ,016$), wobei man allerdings nicht sicher sein kann, ob dieser signifikante Unterschied auch biologisch relevant im Sinne eines generellen Effekts ist (s.o.).

Anders die Veränderung von A nach C, die im Median deutlich geringer ist, als die von A nach B. Wenn die Werte aus A und C von den *selben* Individuen stammen, so ist die Richtung der Veränderung für alle Individuen gleich (Erhöhung), obwohl die Stärke der Veränderungen gering ist. Dies deutet auf eine generelle (biologische) Ursache hin, welche unabhängig von den individuell verschiedenen Ausgangswerten in A ist. Dieser schwache, aber für alle Tiere geltende Unterschied zwischen A und C wird mit dem Wilcoxon-Paardifferenzen-Test als statistisch signifikant ($p = ,027$) erkannt. Wenn die Werte aus A und C dagegen von *verschiedenen* Tieren stammen, so ergibt der Mann-Whitney U-Test wegen des geringen Unterschieds

der Werte in A und C keinen signifikanten Unterschied ($p = ,588$), d.h. der generelle Effekt wird mit diesem Verfahren nicht erkannt.

Dieses Beispiel zeigt, daß es sinnvoll sein kann, die Individualität von Tieren durch die Wahl des entsprechenden Tests (respektive Versuchsdesigns) zu berücksichtigen, wenn man von individuellen Unterschieden unabhängige, also grundlegende Veränderungen messen will. MARTIN und KRAEMER (1987) empfehlen hierfür die statistische Prüfung mit Tests, die auf dem 'matched-pairs design' basieren. Hierzu zählt auch der in dieser Studie verwendete Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, der im Gegensatz zum Vorzeichenstest nicht nur die Richtung der Veränderung, sondern auch die relative Größe des Unterschieds berücksichtigt (LAMPRECHT 1992). Die hier durchgeführten Experimente waren so konzipiert, daß die statistische Prüfung der Ergebnisse wenn möglich nach dem 'matched-pairs design' erfolgen konnte.

Ein zusätzlicher Vergleich zwischen Versuch und Kontrolle mit Stichproben von verschiedenen Tieren kann aber dennoch notwendig sein. Wird über einen längeren Zeitraum gemessen, in dem sich die zu untersuchenden Parameter regulär verändern, so kann nur ein Vergleich mit einer experimentell unbeeinflussten Kontrolle sicher stellen, daß Veränderungen bei einer Versuchsgruppe auf die experimentelle Beeinflussung zurückzuführen sind und nicht auf zufällig gleichzeitig auftretende reguläre Veränderungen. In den in dieser Studie durchgeführten Experimenten traten solche regulären Veränderungen mehrfach auf. So konnten anhand der durchgeführten Kontrollmessungen reguläre Veränderungen der Parameter HR, SD1 und SD2 sowohl über die Lebenswochen (s. 4.2.4), als auch innerhalb der telemetrischen Messungen (Einfluß der Startbedingungen, s. 4.3.2) nachgewiesen und bei der Interpretation von Parameteränderungen bei den Versuchstieren berücksichtigt werden.

Im Haltungsexperiment waren über den sechswöchigen Untersuchungszeitraum altersabhängige Veränderungen der Herzschlagparameter zu erwarten gewesen (HRUSHESKY und FADER 1984, SHANNON et al. 1987, SCHWARTZ et al. 1991, ODEMUYIWA 1995, YERAGANI et al. 1997); sie werden unter 5.2.1 ausführlich diskutiert. Um diese regulären zeitlichen Veränderungen bei der Analyse experimenteller Effekte (Gruppierung, s. 4.2.4) zu berücksichtigen, durften die Kontrolltiere nicht mit den Versuchstieren identisch sein. Deshalb konnte das 'matched-pairs design' für den statistischen Vergleich Versuch vs. Kontrolle hier nicht verwendet werden. Statt dessen wurde mit dem Mann-Whitney U-Test gearbeitet. Dagegen konnten bei der Untersuchung der kurzfristigen Effekte des Groomingexperiments (s. 4.3.2) als Kontrolle Werte der Versuchstiere aus den vorangegangenen Lebenswochen verwendet werden, was einen statistischen Vergleich Versuch vs. Kontrolle mittels Wilcoxon-Paardifferenzen-Test erlaubte. Altersbedingte Einflüsse wurden durch Verwendung relativer Werte ausgeglichen (s. 3.5). Für die Beurteilung der gefundenen langfristigen Effekte regelmäßigen Groomings in LW27 (s. 4.3.3) fehlt strenggenommen eine Kontrolle. Da bei der Versuchsplanung nicht mit diesen Effekten gerechnet wurde, ist auch keine Kontrolle im Versuchsdesign eingeplant worden. Andererseits war die gefundene Veränderung so stark, daß sie nur mit den experimentellen Einflüssen biologisch sinnvoll zu erklären ist (s. 5.3.4).

5.1.3 Interne Rhythmen

Neben Schwingungen von eher kurzer Periodendauer (s. 2.6) zeigen HR und HRV einen klaren, reproduzierbaren circadianen Rhythmus (BAUST 1974, MALPAS und PURDIE 1990, HUIKURI et al. 1992, FALLEN und KAMATH 1995). KUWAHARA et al. (1999) konnten zeigen, daß die diurnale Variation der HRV im Powerspektrum beim Minischwein und beim Menschen vergleichbar ist. HUIKURI et al. (1990) fanden beim Menschen eine maximale HRV (SDNN, s. Glossar) drei Stunden und eine minimale HR vier Stunden vor dem Erwachen. Dies dürfte dem in anderen Untersuchungen gefundenen Zeitpunkt für das Maximum (HRV) bzw. Minimum (HR) zwischen 3 und 5 Uhr morgens entsprechen (EWING et al. 1984, CORNELISSEN et al. 1990).

Allerdings ist der diurnale Rhythmus der HR(V) eng mit dem diurnalen Aktivitätsrhythmus verknüpft (EISERMANN 1988, GATTERMANN und WEINANDY 1997). Daher empfiehlt BAUST (1974) die Messung des Herzschlags im Schlafzustand, da Messungen am wachen Organismus weniger eindeutig seien, weil sehr viele externe Stimuli einen möglichen Rhythmus maskieren können (s. 2.3). Dieses Argument ist aber nur bezüglich des maskierenden Einflusses externer Stimuli schlüssig, da gerade im Schlafzustand der circadiane Schlaf-Wach-Rhythmus von der phasischen Schwankung der wechselnden REM¹ und NREM² Schlafstadien überlagert ist (SCHMIDT 1977).

Während der Herzschlag in den NREM Phasen vor allem parasympathisch beeinflusst wird (HR niedrig, gleichmäßige Kurzzeitvariabilität (s. 2.6) der HRV überwiegt), sind die REM Phasen durch einen Mix aus parasympathischer und sympathischer Aktivität geprägt (HR höher und schwankend, Kurzzeit- und Langzeitvariabilität (s. 2.6) der HRV), wobei die REM-Werte vieler HRV-Parameter ähnlich wie beim wachen, ruhenden Organismus sind (HARPER et al. 1978, SIEGEL und HARPER 1996, TOSCANI et al. 1996, MAROUS und BONNET 1997, SCHOLZ et al. 1997). Dabei ist der Übergang zwischen NREM und REM Phase fließend: bereits mehrere Minuten vor dem Beginn der REM Phase verändert sich die HRV im Sinne einer zunehmenden sympathischen Aktivität, was möglicherweise eine Rolle bei der Initiierung des REM Schlafes spielt (BONNET und ARAND 1997).

Außer dem Menschen zeigen auch alle anderen Säugetiere ein Schlafverhalten, bei dem sich REM und NREM Stadien voneinander abgrenzen lassen (SCHMIDT 1977). Ein zwischenartlicher Vergleich zwischen juvenilen Schweinen (ROBERT und DALLAIRE 1986) und anderen, juvenilen Säugetieren (JOUVET 1967) zeigt, daß der Anteil der REM Phasen am Schlaf beim juvenilen Schwein mit ca. 40 % in etwa im Mittelfeld anzusiedeln ist.

Für die hier durchgeführten Analysen wurden nur Messungen verwendet, in denen die Tiere ruhig auf der Seite lagen (auf den Aspekt 'Ruhen/Schlafen' wird weiter unten eingegangen). Aber auch in Ruhephasen gemessene Herzschlagparameter können sich wegen des circadianen Rhythmus theoretisch unterscheiden, wenn sie zu verschiedenen Tageszeiten gemessen wer-

¹ REM Schlaf: von (engl.) rapid eye movements; Salven schneller Augenbewegungen; synonym: paradoxer bzw. desynchronisierter Schlaf (SCHMIDT 1977).

² NREM Schlaf: Non-REM Schlaf; synonym: synchronisierter bzw. Slow-Wave-(SW-)Schlaf (SCHMIDT 1977).

den. Um eine ausreichende Datenmenge zu erhalten, mußten in dieser Studie mehrere telemetrische Messungen pro Tier und Tag durchgeführt werden. Die 3 Meßzeiten M1, M2 und M3 erfolgten zwischen 11:00 und 15:20 Uhr (s. 3.4). Die Meßzeiten lagen damit in einem Zeitraum des Tages, in dem die Tiere gewöhnlich 'ruhten'. Der Vergleich der 3 Meßzeiten ergab für die HR, SD1 und SD2 im Median ähnliche Werte: statistisch signifikante Unterschiede wurden nicht gefunden, weshalb die drei Meßzeiten für die Berechnung der Wochenmediane zusammengefaßt werden konnten (s. 4.2.2). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, daß in dem Meßzeitraum keine großen circadianen Schwankungen der Herzschlagparameter auftraten.

Interessanterweise befindet sich auch beim Menschen in diesem Zeitraum ein längeres circadianes Plateau für die HR und verschiedene HRV-Parameter (CORNELISSEN et al. 1990, HUIKURI et al. 1990, HUIKURI et al. 1992). HUIKURI et al. (1992) fanden bei 22 Probanden (Kontrollgruppe) für die HF-Komponente (s. 2.8 und Glossar) im Powerspektrum ein Plateau zwischen 12 und 17 Uhr, welches zwar niedriger als das frühmorgendliche Maximum (sogenannte 'Akrophase' zwischen 3 und 6 Uhr; s.o.) war, aber immer noch deutlich höher als die beiden Minima am Morgen (8 bis 10 Uhr) und am Abend (18 bis 21 Uhr). Die HF wird - wie die in dieser Studie verwendete SD1 - maßgeblich durch den Vagustonus beeinflusst. Der Einfluß des Vagus dominiert den Herzschlag beim ruhenden Organismus (HAINSWORTH 1995). Sollte wie beim Menschen auch für Schweine ein ähnlich hohes circadianes Plateau der Vagusaktivität in der Zeit um Mittag bis Nachmittag typisch sein (über die circadiane Rhythmik der HRV beim Schwein wurden keine Publikationen gefunden), wofür die bei allen Säugetieren gleiche funktionale Steuerung des Vagustonus spricht (PORGES 1995a), wäre dies eine Erklärung dafür, warum die Schweine im hier genutzten Meßzeitraum für gewöhnlich ruhig auf der Seite lagen.

Die zur Berechnung der Wochenmediane (HR, SD1, SD2) verwendeten validen 5-min-Intervalle aus den telemetrischen Messungen wurden in dieser Studie ausschließlich nach dem ethologischen Kriterium 'ruhig auf der Seite liegen' ausgewählt (s. 3.3). Eine zusätzliche Kategorisierung nach Schlafstadien wäre apparativ zu aufwendig und damit störend für die Tiere gewesen. Eine Kategorisierung der Schlafstadien allein anhand der gemessenen kardiologischen Parameter ist auf Grund der oben erwähnten fließenden Übergänge zwischen den Schlafstadien (BONNET und ARAND 1997) kaum möglich und wäre zudem unüblich.

Es ist davon auszugehen, daß auch bei telemetrischen Messungen während der Ruhephasen am Tag NREM und REM Phasen gemessen werden. KOTRBACEK (1991) untersuchte die Tagesschlafphasen zwischen 8:00 und 13:00 Uhr an 8 Wochen alten Duroc Ferkeln: Abgesehen von großen individuellen Unterschieden (s. 5.1.2) schliefen die Tiere im Mittel die Hälfte der Zeit, wovon 21 % REM Phasen mit einer mittleren Dauer von $3,8 \pm 0,9$ min waren (auch in den Wachphasen trat das Verhaltensmuster 'liegen' auf). ROBERT und DALLAIRE (1986) unterschieden anhand von wiederholten 24-Stunden-Messungen bei 3 juvenilen Schweinen vier Zustände mit folgenden Zeitanteilen: wach (46,5 %), dösen (15,9 %), NREM Schlaf (26,7 %) und REM Schlaf (10,9 %). Knapp 80 % der Schlafzyklen traten nachts auf. Im Tag-Nacht-Vergleich war die Dauer für NREM und REM tags kleiner als nachts, bei dösen war das Verhältnis umgekehrt.

Demnach spielen bereits bei sehr jungen Schweinen NREM und REM Phasen während der Tagesruhephasen eine deutlich geringere Rolle als während des Nachtschlafes. Da bei allen Säugetieren sowohl die Gesamtschlafzeit als auch der Anteil des REM Schlafes mit zunehmendem Alter abnimmt (SCHMIDT 1977), sollte in dem hier untersuchten Alter der Schweine der Einfluß von NREM und REM Schlaf auf die berechneten Wochenmediane der Herzschlagparameter vergleichsweise gering gewesen sein.

5.1.4 Einflüsse der Messung

Nach STÖHR (1986) sollten bei telemetrischen Messungen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Kein Einfluß der Meßmethode auf die HR(V).
2. Präzise Messungen und Vermeidung von Meßartefakten (s. 5.1.5).
3. Ausreichende Adaptationszeit an die Meßbedingungen für jedes Tier, bevor eine 'wahre' basale HR(V) erwartet werden kann.

Die Messung der HR(V), egal ob telemetrisch mit EKG-Meßgeräten oder durch Abhören mit dem Stethoskop, kann per se eine sympathische Stimulation verursachen, wodurch eine 'überhöhte' HR gemessen werden würde (RAEKALLIO 1992).

Eine Ursache hierfür können anthropogene Effekte aufgrund der Anwesenheit von Experimentatoren während der Messung sein. Dieser Experimentator-Effekt kann die Interpretation der zu untersuchenden experimentellen Effekte erschweren (HOPSTER et al. 1998). KING et al. (1995) empfehlen daher die Anzahl der bei einer Messung anwesenden Personen zu minimieren. So schließen HOPSTER et al. (1995) einen Experimentator-Effekt bei der von ihnen gefundenen Erhöhung der HR bei Kühen, deren Kälber separiert wurden, nicht aus, da bereits bei Annäherung des Experimentators ein leichter Anstieg der HR auftrat. Dagegen führen HALL et al. (1976) die von ihnen gemessene vergleichsweise niedrige mittlere Ruhe-HR von 31,7 bpm bei Pferden gerade darauf zurück, daß die Messung in Abwesenheit des Experimentators erfolgte.

Die telemetrischen Messungen in dieser Studie erfolgten ebenfalls in Abwesenheit des Experimentators (s. 3.2). Zudem wurden jeweils die ersten 10 min einer telemetrischen Messung verworfen, um einen möglichen Experimentator-Effekt während des Startens der Meßgeräte zu minimieren (s. 3.3).

Auch die Meßgeräte selbst können die Messungen beeinflussen. So muß bei implantierten Telemetriegeräten eine ausreichend lange Erholungszeit nach der Implantation berücksichtigt werden. Die hier verwendeten nicht-invasiven telemetrischen Meßgeräte haben dagegen den Vorteil, daß sie die Tiere per se physisch nicht belasten (zur psychischen Belastung, s.u.). Sie haben aber andererseits den Nachteil, nicht wie Implantate vor Manipulationen durch andere Tiere geschützt zu sein.

Um Beschädigungen oder Zerstörungen der Meßgeräte durch andere Schweine zu verhindern oder weil die telemetrischen Meßgeräte eine normale Bewegungsfreiheit nicht zulassen bzw.

stark einschränken, erfolgen telemetrische Messungen oft in Einzelhaltung bzw. in der Immobilisation (WADE et al. 1986, VILLÉ et al. 1993, PERREMANS et al. 1998) oder an betäubten Tieren (GOOTMAN et al. 1991, JACOBSEN et al. 1993, ROEWER et al. 1995, FANG et al. 1996, GERARD et al. 1996, ZWIENER et al. 1996, TONG et al. 1997). Abgesehen von den stark eingeschränkten experimentellen Möglichkeiten von unter Betäubung durchgeführten telemetrischen Messungen (ECKBERG 1983), muß gerade bei Untersuchungen der parasymphathischen Aktivität berücksichtigt werden, daß vagale Motoneurone leicht durch betäubende Mittel beeinflusst werden können (VATNER et al. 1971).

Telemetrische Messungen der HR in Gruppenhaltung wurden von MARCHANT et al. (1995 u. 1997) an Sauen erfolgreich durchgeführt, wobei die Tiere unter kontinuierlicher Aufsicht standen und die Sauen offenbar kein ausgeprägtes Interesse an den Meßgurten (Polar Sport Tester, Polar Electro Oy, Finnland) zeigten (MARCHANT, pers. Mitt. 1996). Dagegen zeigen Mastschweine nach eigener Erfahrung ein ausgeprägtes Explorations- und Manipulationsverhalten an den gleichen Meßgurten, insbesondere wenn sie in vergleichsweise reizarmer Umgebung gehalten werden. Um eine Zerstörung der hier verwendeten telemetrischen Meßgeräte zu verhindern, wurden diese mit eigens hierfür angefertigten Stretchgurten geschützt (s. 3.2). Allerdings reagieren die meisten Schweine beim erstmaligen Anlegen der Gurte, insbesondere bei den Schutzgurten, mit aversiven Verhaltensreaktionen. Daher muß man die Tiere an das Tragen nicht-invasiver Meßgeräte normalerweise gewöhnen. Alle Versuchstiere wurden an die Meß- und Schutzgurte über einen dreiwöchigen Zeitraum gewöhnt, um psychogene Effekte in den telemetrischen Messungen auf Grund ungewohnten Tragens der Gurte zu minimieren. Mit Beginn der eigentlichen Versuche in der 20. Lebenswoche wurden bei keinem der 24 Tiere aversive Verhaltensreaktionen gegenüber den Meß- und Schutzgurten beobachtet (s. 3.2).

5.1.5 Meßartefakte

Der Hauptschrittmacher des Herzschlags ist der Sinusknoten (nomotopes Zentrum; ANTONI 1977), dessen autonomer Takt durch die Aktivität von Parasympathikus (Vagus) und Sympathikus moduliert wird (AKSELROD 1995). Das Herz hat jedoch noch weitere latente Schrittmacher, insbesondere im Atrioventrikularknoten und im His-Purkinje-System (heterotope Zentren, ANTONI 1977). Diese können zusätzliche elektrische Impulse erzeugen, welche sogenannte 'ektopische'¹ Herzschläge erzeugen können, die die 'normale' HRV verändern (KAMATH und FALLEN 1995). KAMATH und FALLEN (1995) gehen davon aus, daß der Teil des autonomen Nervensystems, der für die reguläre Steuerung der HRV verantwortlich ist, keine signifikante Rolle bei der Entstehung von ektopischen Herzschlägen spielt. Daher sollten solche 'Meßartefakte' vor einer HRV-Analyse der telemetrisch gemessenen RR-Intervalle eliminiert werden (TASK FORCE 1996). Das gleiche gilt natürlich auch für andere Meßartefakte, wie beispielsweise sogenannte 'unechte'² Herzschläge vom Typ A und Typ B oder 'fehlende' Herzschläge, die durch Verrutschen der Meßgurte hervorgerufen werden.

¹ ektopisch = an falscher Stelle liegend (normalerweise auf die Lage von Organen bezogen)

² Typ A: Vereinzelt treten im EKG T- und / oder P-Zacken auf, die größer als der interne Grenzwert des Meßgerätes sind und fälschlicherweise als R-Zacken erkannt werden, wodurch zwei zu kurze 'RR-Intervalle' aufgezeichnet werden. Typ B: Einzelne R-Zacken können niedriger als der interne Grenzwert sein, wodurch ein zu großes 'RR-Intervall' aufgezeichnet wird (KAMATH und FALLEN 1995).

Spektralanalysen reagieren sehr viel empfindlicher auf Meßartefakte als Zeit-Analysen (MALIK 1995a). Schon ein einzelner ektopischer Herzschlag in einem vierminütigen EKG kann zu einer deutlichen Veränderung des Powerspektrums in der Spektralanalyse führen (SAUL et al. 1988). Aber auch HRV-Parameter aus Zeit-Analysen (z.B. die RMSSD; s. Glossar) können sehr sensitiv für Meßartefakte sein, insbesondere bei Individuen mit niedriger HRV (MOLGAARD 1991). Dagegen wird der hier verwendeten Methode der HRV-Analyse mittels quantitativer Lorenz-Plot Analyse eine vergleichsweise geringe Notwendigkeit einer gleichbleibenden Datenqualität attestiert (TULPPO et al. 1996b).

Dennoch können einzelne Meßartefakte auch die HRV-Parameter der quantitativen Lorenz-Plot Analyse verändern. Ein zufällig ausgewähltes 5-min-Intervall einer ruhig liegenden Person, in dem ein einzelner Meßaussatzer durch Zusammenfassung zweier aufeinanderfolgender RR-Intervalle simuliert wurde (Typ B, s.o.), soll diesen Einfluß verdeutlichen: Während der einzelne Aussetzer die HR lediglich von 64,2 bpm auf 64,0 bpm verringerte, führte er bei der SD1 fast zu einer Verdopplung von 27,6 ms auf 51,3 ms. Der Einfluß des Aussetzers auf die SD2 war in diesem Beispiel mit einer Erhöhung von 106,1 ms auf 111,7 ms nicht ganz so eindrucksvoll wie bei der SD1. Dieses Beispiel zeigt, daß auch bei der quantitativen Lorenz-Plot Analyse alle Meßartefakte vor einer Analyse der HRV eliminiert werden sollten.

Das hier verwendete Analyseprogramm (s. 3.3) beinhaltet einen Korrektur-Algorithmus, mit dem ein Großteil der Artefakte halbautomatisch korrigiert wurden. Jedoch ersetzt ein Korrekturalgorithmus nicht eine abschließende visuelle Kontrolle und manuelle Korrektur von Meßartefakten durch einen erfahrenen Auswerter (KAMATH und FALLEN 1995, TASK FORCE 1996, TULPPO et al. 1996b). Meßartefakte, die vom Korrektur-Algorithmus nicht erkannt wurden, wurden nach visueller Kontrolle mit einem Schreibprogramm (s. 3.3) manuell korrigiert. Dabei wurden die korrigierten RR-Intervalle so gewählt, daß sie sich in den HRV-Rhythmus der benachbarten RR-Intervalle harmonisch einfügten. Die visuelle Beurteilung eines 'normalen' HRV-Rhythmus basierte auf der Erfahrung von mehr als 2000 ausgewerteten telemetrischen Datenreihen mit über 1500 Stunden RR-Intervall-Daten.

Durch die halbautomatische und manuelle Bearbeitung der telemetrischen Rohdaten standen also qualitativ hochwertige RR-Intervall Datenreihen für die anschließende HRV-Analyse zur Verfügung. Die Anzahl und Ausprägung der Meßartefakte, die nach der visuellen Endkontrolle möglicherweise noch vorhanden waren, dürfte minimal gewesen sein. Da die hier angewandte quantitative Lorenz-Plot Analyse per se durch Meßartefakte vergleichsweise wenig beeinflusst wird (s.o.), konnte eine Beeinflussung der berechneten HRV-Parameter durch Meßartefakte nahezu ausgeschlossen werden.

Die Meßgenauigkeit der verwendeten Polar Vantage NV Meßgeräte (s. 3.2) ist sehr hoch und erfüllt klinischen Standard. KINNUNEN und HEIKKILÄ (1998) testeten an 20 gesunden Erwachsenen die Genauigkeit des Polar Vantage NV im Vergleich mit dem Polar R-R Recorder, dessen exzellente Meßgenauigkeit der RR-Intervalle (1 ms) von RUHA et al. (1997) gezeigt wurde: Die Meßunterschiede bei den RR-Intervallen betragen in 96,4 % aller Werte ± 2 ms und in

99,9 % \pm 5 ms. Bei Korrektur der Rohdaten mußten nur 0,5 % der RR-Intervalle wegen technischer Fehler und 0,2 % wegen ektopischer Herzschläge (s.o.) von der Analyse ausgeschlossen werden. Die Fehlerrate bei den Messungen an Schweinen in dieser Studie wurde aus Zeitgründen zwar nicht qualitativ bestimmt, sie dürfte aber nach subjektiver Einschätzung ähnlich niedrig gewesen sein.

Die Firma POLAR ELECTRO OY (90440 Kempele, Finnland) entwickelt seit 1983 mobile telemetrische HR-Meßgeräte, deren hohe Meßgenauigkeit mehrfach bestätigt wurde (LAUKKANEN und VIRTANEN 1998). Auch für die Messung an Nutztieren wurden Vorläufermodelle der hier verwendeten Polar Vantage NV Meßgeräte validiert, welche allerdings noch nicht auf RR-Intervall-Basis aufzeichnen konnten (EVANS und ROSE 1986, SLOET et al. 1988, HOPSTER und BLOKHUIS 1994). Diese Vorläufermodelle (Polar Sport Tester bzw. Polar Vantage XL) sind auch bei Schweinen erfolgreich zur Messung der HR (Meßwerte alle 5 sec) eingesetzt worden (z.B. KENNEDY et al. 1995, MARCHANT et al. 1995 u. 1997, ROBERT et al. 1997).

5.1.6 Zusammenfassung der methodischen Diskussion

Der vorangegangene methodische Teil der Diskussion ist vergleichsweise umfangreich. Dies geschah in der Absicht, wesentliche methodische Aspekte herauszuarbeiten, die bei der Analyse von HR und HRV von Bedeutung sind und bei den hier durchgeführten Experimenten beachtet werden mußten. Leider ist festzustellen, daß diese Aspekte in sehr vielen Publikationen, in denen die HR(V) gemessen wurde, weniger beachtet wurden. Insbesondere die motorische Komponente (s. 5.1.1) wird häufig nicht adäquat berücksichtigt.

In dieser Studie wurde versucht, die wesentlichen Einflußfaktoren und Störgrößen auf die Parameter HR, SD1 und SD2 so weit wie möglich zu minimieren bzw. konstant zu halten. Im besonderen galt dies für:

1. die motorische Komponente (per se minimal und immer gleich, s. 5.1.1),
2. individuelle und reguläre, ontogenetische Einflüsse (s. 5.1.2),
3. circadiane und ultradiane (NREM, REM) Rhythmen (s. 5.1.3),
4. anthropogene Einflüsse (s. 5.1.4),
5. psychogene Einflüsse durch die Meß- und Schutzgurte (s. 5.1.4),
6. Meßartefakte (s. 5.1.5),
7. exogene Faktoren wie Temperatur, Licht, Emissionsbelastung, etc. (3.1.1 bis 3.1.6).

Damit sollten die für die Untersuchung der langfristigen Effekte verwendeten Wochenmediane die basalen Werte der HR, SD1 und SD2 in der bestmöglichen Form abbilden. Abweichungen von den 'normalen'¹ basalen Werten wären demnach weitgehend auf eine generelle Änderung der sympatho-vagalen Balance des autonomen Nervensystems als Reaktion auf den jeweiligen experimentellen Stimulus zurückzuführen. Für die Untersuchung der kurzfristigen Effekte im Groomingexperiment lagen sogar noch bessere Bedingungen vor, da Stimulus (HGET) und Vor- bzw. Nachphase zeitlich direkt nebeneinander lagen.

¹ Mit 'normal' sind die basalen Werte der Kontrolle bzw. die regulären altersabhängigen Veränderungen der Parameterwerte gemeint.

5.2 Haltungsexperiment

5.2.1 Allgemeine (experimentunabhängige) Befunde

Die Schweine zeigten im Vergleich zu ihrem Alter bzw. Körpergewicht im Wochenmedian eine hohe Ruhe-HR um 100 bpm. LÜCKMANN (1958) fand eine niedrigere Ruhe-HR um 88 bpm bei Schweinen (Veredeltes Deutsches Landschwein), die - obwohl etwas älter (Alter: 6 bis 10 Monate) - mit 75 bis 100 kg ein mit den hier untersuchten Tieren vergleichbares Gewicht hatten (s. 4.2.5). Andere Vergleichswerte wurden nicht gefunden, da in den meisten Untersuchungen die Ruhe-HR entweder bei deutlich jüngeren oder älteren Schweinen gemessen wurde. Es existiert ein allgemeiner Trend, daß sich die HR mit zunehmender Herzgröße verringert (ENGELHARDT 1977), weshalb sich die vergleichsweise hohe Ruhe-HR beim Hausschwein zum großen Teil mit ihrem züchtungsbedingt niedrigen relativen Herzgewicht (THIELSCHER 1984, DÄMMRICH 1987) erklären läßt (s. 2.1).

Ein weiterer, die Ruhe-HR beeinflussender Faktor ist die physische Fitneß eines Organismus, da sich das Herz mit zunehmendem Trainingszustand vergrößert. Beim Menschen beträgt die Herzgröße von Normalpersonen etwa 780 ml, während bei besonders leistungsfähigen Spitzensportlern (Profiradrennfahrer) Herzvolumina um die 1000 ml festgestellt wurden (MÖRIKE 1989). Da die Haltungsbedingungen in dieser Studie (s. 3.1.5), nicht anders als in der heutzutage üblichen Schweinehaltung, den Schweinen wenig Möglichkeiten zur körperlichen Betätigung boten (außer bei der Nahrungsaufnahme lagen die Tiere fast ausschließlich), dürfte der untrainierte Zustand der Tiere, neben dem züchtungsbedingten geringen relativen Herzgewicht, zu der hohen Ruhe-HR der Tiere beigetragen haben.

Die HR verringerte sich bei den Kontrolltieren im Wochenmedian von der 20. bis zur 25. Lebenswoche kontinuierlich, wobei die Unterschiede nach 2 bzw. 3 Wochen signifikant waren. Diese Abnahme war aufgrund der altersbedingten Zunahme des Herzgewichts zu erwarten. Die HR des Schweines nimmt mit zunehmendem Alter ständig ab, wobei in den ersten Lebenswochen die Verringerung am stärksten ist (LÜCKMANN 1958, SCOTT et al. 1990). Schon beim menschlichen Fötus verringert sich die mittlere HR im Laufe der Schwangerschaft kontinuierlich (IBARRA-POLO et al. 1972).

Bei den HRV-Parametern waren die zeitlichen Veränderungen nicht so deutlich ausgeprägt wie bei der HR. Zudem war die Richtung der Veränderungen im Vergleich zur HR gegenläufig: Bei den Kontrolltieren erhöhten sich die SD1 und die SD2 von der 20. bis zur 25. Lebenswoche, wobei signifikante Unterschiede erst gegen Ende des Meßzeitraums in der 24. und 25. Lebenswoche gefunden wurden. Da die altersabhängige Veränderung der HRV beim Schwein bisher nicht untersucht wurde, müssen für die Interpretation dieser Ergebnisse Untersuchungen am Menschen herangezogen werden. Der Vergleich ist zulässig, da bei allen Säugetieren die gleiche funktionale Steuerung des Vagustonus zugrunde liegt (PORGES 1995a); dasselbe kann für den Sympathikus vorausgesetzt werden.

Aus Untersuchungen am Menschen ist bekannt, daß die HRV während der Embryonalentwicklung und in der frühen postnatalen Lebensphase zunächst zunimmt (RAVENSWAALJ et al. 1991, PORGES 1995b). Diese Erhöhung der HRV hängt mit der Reifung des autonomen Nervensy-

stems zusammen, wobei die parasympathische Innervation (ab der 8. Schwangerschaftswoche) der sympathischen vorausgeht (HIRSCH et al. 1995). Ab einem Alter zwischen 5 und 10 Jahren ist dann bereits eine Verringerung der HRV zu erkennen (FINLEY et al. 1987, SCHWARTZ et al. 1991). Diese Verringerung der HRV mit zunehmendem Alter wurde in einer Reihe von Untersuchungen bestätigt (HRUSHESKY und FADER 1984, SIMPSON und WICKS 1988, KORKUSHKO et al. 1991, SCHWARTZ et al. 1991, COWAN et al. 1994, RYAN et al. 1994, TSUJI et al. 1996, YERAGANI et al. 1997), wobei die altersbedingte Verringerung insbesondere bei älteren Personen zumindest z.T. von den Lebensumständen, vor allem vom Trainingszustand, abhängt (DAVY et al. 1996, YATACO et al. 1997). Diese Abnahme mit zunehmendem Alter ist nichtlinear, wobei sie in jungen Jahren schneller als im Alter voranschreitet (O'BRIEN et al. 1985). Dabei nimmt der parasympathische Einfluß anscheinend nur bis zu einem Alter von 30 bis 35 Jahren ab und zeigt danach keine weitere signifikante Verringerung (HIRSCH und BISHOP 1981, SHANNON et al. 1987). PFEFFER et al. (1983) zeigten, daß die Abnahme der HRV mit zunehmendem Alter hauptsächlich auf eine Verringerung der parasympathischen Funktion zurückzuführen ist. Allerdings ist die Bedeutung dieses Befundes für Veränderungen des zentralen Nervensystems, die Reaktion der afferenten und efferenten parasympathischen Nerven und die Funktion des Sinusknotens noch unbekannt (ODEMUYIWA 1995).

Der in dieser Studie bei Schweinen gefundene Anstieg bei den HRV-Parametern SD1 und SD2 dürfte der Zunahme der HRV in der postnatalen Phase bis zum Alter von 5 bis 10 Jahren beim Menschen entsprechen und vermutlich durch einen noch nicht abgeschlossenen Reifungsprozeß des autonomen Nervensystems verursacht sein. Die Schweine (Börge) waren mit 20 bis 25 Lebenswochen noch vor ihrer (theoretisch) vollendeten Geschlechtsreife (HÖRNING 1992).

5.2.2 Experimentelle Effekte durch zusätzliche Manipulationsobjekte

Das Vorhandensein zusätzlicher Manipulationsobjekte (Kurzstroh in einer Raufe, Stein und Gummireifen) während der Gruppenhaltung hatte keine meßbaren Auswirkungen auf die Wochenmediane der Parameter HR, SD1 und SD2 (s. 4.2.3). Dafür sind zwei mögliche Ursachen denkbar. Zum einen könnte der durch die Gruppierung hervorgerufene Effekt auf die Parameter so stark gewesen sein, daß er einen möglicherweise vorhandenen Einfluß durch die Manipulationsobjekte überdeckte. Andererseits stellt sich die Frage, ob die Manipulationsobjekte überhaupt geeignet waren, eine generelle Veränderung der basalen Werte von HR, SD1 und SD2 hervorzurufen.

Ein wichtiges Kriterium für eine wirkungsvolle Verbesserung der Haltungsumwelt von (Nutz-) Tieren ist die biologisch relevante (NEWBERRY 1995), spezies-spezifische (YOUNG et al. 1994) Eigenschaft der gebotenen Beschäftigungsmöglichkeiten und anderer Haltungskomponenten. Die Erfüllung dieses Kriteriums war allerdings in dieser Studie schwierig, da die Möglichkeiten durch den vorhandenen Versuchsstall eingeschränkt waren. Die ursprüngliche Planung, einen Bereich mit Langstroh zum Liegen und Wühlen zur Verfügung zu stellen, mußte verworfen werden, da selbst durch eine Abdeckung der Spalten mit Gummimatten zu viel Stroh in die Güllewannen gelangt wäre, was zu einer Verstopfung des Abflußrohres geführt hätte. Das Angebot von Kurzstroh in einer Raufe reduzierte zwar die Gefahr einer Verstopfung, erlaubte

aber den Schweinen aufgrund der geringen Maschenweite des Raufengitters von 5 cm nur einen begrenzten Zugang zum Stroh. Der 1 bis 2 kg schwere, abgerundete Stein sollte insbesondere hebelnde Manipulationen ermöglichen. Auf Holzobjekte (Balken oder größere Aststücke) zum Hebeln und Benagen wurde aus hygienischen Gründen verzichtet. Für komplexere Manipulationen war ein Schubkarrenreifen vorgesehen: die Schweine konnten den Reifen benagen (ohne Zerstörung des Reifens), hebeln, zusammendrücken, mit der Schnauze etwas hochwerfen oder schütteln. Obwohl die Benutzungshäufigkeiten der Objekte aus Zeitgründen¹ nicht quantitativ erfaßt werden konnten, ließ sich die Attraktivität der Manipulationsobjekte anhand der durchgeführten Videoanalysen (s. 3.2 u. 3.3) und der Beobachtungen, die während der Anwesenheit des Experimentators im Versuchsstall gemacht wurden, zumindest in Relation zueinander abschätzen. Nach dieser subjektiven Einschätzung wurden die Kette (Standardausrüstung in allen Buchten, s. 3.4) und der Stein kaum benutzt. Etwas häufiger beschäftigten sich die Schweine mit dem Kurzstroh in der Raufe. Am häufigsten wurden Manipulationen des Reifens beobachtet.

Bisher wurden in Studien zur Anreicherung der Haltungsumwelt (engl.: environmental enrichment) vor allem die Auswirkungen auf das Verhalten der Tiere untersucht. MOORE et al. (1994) untersuchten das Verhalten von früh abgesetzten (24 Tage) Ferkeln mit und ohne zusätzliche Manipulationsobjekte (Gummihandschuh, Gummispielzeug für Hunde, Plastikband): Ferkel mit zusätzlichen Objekten zeigten weniger inaktives Sitzen (wurde als Indikator für Konflikt oder Frustration gewertet), weniger Mattenmanipulation, mehr soziale Interaktionen und eine geringere Latenzzeit im 'Human Encounter Test' (wurde als Indikator für weniger Angst gewertet). FEDDES und FRASER (1994) boten 10 Wochen alten Ferkeln in Gruppenhaltung (á 6 Tiere) verschiedene kaubare Materialien (Cordstoff und Gummi). Die Benutzungshäufigkeit war abhängig von der 'Zerstörbarkeit' des Materials: Cord besser als Gummi, Streifen besser als geschlossener Ring, eingerissenes Ende besser als unbeschädigtes Ende. SCHAEFER et al. (1990) fanden lediglich einen geringen aggressionsmindernden Effekt eines kurz über dem Boden an einer Kette hängenden Autoreifens bei 11 Wochen alten Schweinen in Gruppenhaltung. Allerdings erfolgte die Datenaufnahme zu einem Zeitpunkt, an dem der Reifen bereits 5 Wochen in der Bucht hing, so daß das Interesse der Tiere an dem Objekt möglicherweise geringer war als am Anfang. Laut WECHSLER (1997) ist ein regelmäßiger Austausch der Beschäftigungsobjekte wichtig, da das Erkundungsverhalten durch Neureize besonders stark angeregt wird.

Vor allem die Verfügbarkeit von Wühlbereichen mit Stroheinstreu oder Erde scheint für Schweine ein wichtiges Kompartiment einer 'reichen Umgebung' darzustellen (SIMONSEN

¹ Eine quantitative Analyse von vergleichsweise selten auftretenden Verhaltensmustern ist nur mit kontinuierlichen Beobachtungen hinreichend genau. Im Gegensatz zur Beobachtung in Intervallen, womit seltene Ereignisse nur zufällig erfaßt werden, hätten kontinuierliche Beobachtungen aller Tiere über den Versuchszeitraum ein sehr großes Zeitkontingent beansprucht. Da in dieser Untersuchung der Schwerpunkt auf den physiologischen Parametern lag, deren Analyse ebenfalls sehr zeitaufwendig war (s. 3.3) und da der für die Auswertung zur Verfügung stehende Zeitrahmen limitiert war, mußten bei der Auswertung Prioritäten gesetzt werden. Dies galt auch für die Analyse anderer Verhaltensmuster.

1990, JONG et al. 1998a). So reduzierte Erde in einem Trog die Aggressionshäufigkeit bei früh abgesetzten (4 Wochen) Ferkeln (APPLEBY und WOOD-GUSH 1988). Nach BARTUSSEK (1997) ersetzt eine ordentliche Stroheinstreu andere Auslöser für die Befriedigung unterschiedlicher Verhaltenselemente, wie z.B. Beißen, Wühlen, Kauen, Nestbau, Scharren, Futtersuche, Erkundungs- und allgemein Beschäftigungsverhalten; zudem hat Stroh eine große Bedeutung für die Thermoregulation und kompensiert manche Mängel in der Gestaltung des Stallklimas.

Die vorliegende Studie ist - soweit bekannt - die erste Untersuchung, in der die Auswirkung zusätzlicher Manipulationsobjekte auf die basalen Werte von Herzschlagparametern bei Schweinen untersucht wurde. Die Arbeit von JONG et al. (1998a) gibt zumindest einen Hinweis auf Zusammenhänge zwischen der Haltungsumwelt und der HR. Sie untersuchten die Auswirkung verschiedener Stressoren (Gruppenwechsel, einstündige Isolation und Fixation mit einer Nasenschlinge; Testalter 10, 14 und 17 Wochen) auf die HR von 12 Schweinen die von Geburt an entweder in strukturarmen oder strukturreichen (mehr Platz mit Stroheinstreu) Buchten gehalten wurden: sie fanden keine Unterschiede in der HR vor, während oder nach den Streßsituationen, wobei vor allem der Vergleich der 45 minütigen Vorphasen von Interesse ist, auch wenn diese qualitativ nicht direkt mit den Wochenmedianen aus der vorliegenden Studie vergleichbar sind. Interessant ist, daß die Autoren im Gegensatz zur HR in den Vorphasen bei den Schweinen aus der strukturreichen Umgebung signifikant höhere Cortisolwerte fanden, was darauf hindeutet, daß die Haltungsumwelt durchaus einen Effekt auf die Homöostase der Tiere hatte.

Zur Beantwortung der Frage, ob sich Unterschiede zwischen einer reizarmen und einer reichstrukturierten Haltungsform in der basalen HR oder HRV prinzipiell abbilden lassen, sind weitere Untersuchungen notwendig, in denen der Unterschied zwischen den Haltungsformen größer als in dieser Studie sein sollte. Außerdem sollten die gebotenen Manipulationsobjekte und die Strukturierung der Umgebung besser den biologischen Bedürfnissen der Schweine entsprechen. Auch zusätzliche Effekte, wie durch die Gruppierung in dieser Studie, sollten vermieden werden.

Sind für Schweine adäquate Strukturelemente einer 'reichen' Umwelt bekannt, welche zu einer Erhöhung der basalen parasymphatischen Aktivität führen, so kann man prüfen, ob diese Strukturelemente auch eine belastungsmindernde Wirkung haben können, z.B. indem eine Verringerung der basalen parasymphatischen Aktivität, wie sie in dieser Untersuchung durch die Gruppierung hervorgerufen wurde (s. 5.2.3), gemildert oder gar vermieden werden kann. Zur Erinnerung: Die Manipulationsobjekte wurden hier der einen Hälfte der Versuchstiere gegeben, um ihren möglichen (z.B. belastungsmindernden) Einfluß auf die Gruppierungseffekte zu prüfen (s. 1) und nicht, um einen *generellen* Effekt von Manipulationsobjekten auf die HR und die HRV zu untersuchen (dafür wäre ein anderer Versuchsansatz nötig).

5.2.3 Experimentelle Effekte durch die Gruppierung

Die Ergebnisse des Einflusses der Gruppierung auf die kardiologischen Parameter (s. 4.2.4) können folgendermaßen zusammengefaßt werden: Die Gruppierung der Versuchstiere in der 22. Lebenswoche führte im Vergleich zur Vorwoche in den Wochenmedianen zu einer signifikanten Erhöhung der HR und einer signifikanten Verringerung der SD1, während bei der SD2 keine signifikanten Effekte nachweisbar waren. Im Vergleich zu den weiterhin einzeln gehaltenen Kontrolltieren blieb der signifikante Unterschied bei der HR und der SD1 über drei Wochen bestehen. In der ersten Woche der Gruppenhaltung war die absolute Änderung zur Vorwoche bei den Parametern am stärksten ausgeprägt, wobei dieser Effekt bei der SD1 am eindeutigsten war.

Da insbesondere die Höhe der SD1 in hohem Maß mit der Aktivität des Vagustonus korreliert ist (s. 2.10), deutet das Ergebnis darauf hin, daß die basale parasympathische Ruheaktivität der Schweine durch die Gruppierung über drei Wochen deutlich verringert war. Dieser langfristige Effekt war aber nicht von Dauer, da in der vierten Woche nach der Gruppierung (LW25) kein signifikanter Unterschied zu den Parameterwerten der Kontrolltiere gefunden wurde.

Dieser über drei Wochen anhaltende Effekt der Gruppierung war insofern unerwartet, weil die negativen Effekte von Neugruppierungen normalerweise als eher kurzlebig betrachtet werden (STOOKEY und GONYOU 1994): Verletzungen durch Aggressionen nach einer Neugruppierung sind bei Mastschweinen üblicherweise oberflächlich und heilen schnell (GONYOU et al. 1988). Normalerweise beschränken sich Aggressionen bereits 1 bis 2 Tage nach Neugruppierungen auf Drohen und submissives Verhalten, was als Zeichen normaler stabiler sozialer Beziehungen bei Schweinen angesehen wird (MEESE und EWBANK 1973, JENSEN 1982, MCCORT und GRAVES 1982, LUESCHER et al. 1990). In dieser Untersuchung wurden keine deutlichen Aggressionen nach der Gruppierung im ausgewerteten Videomaterial beobachtet und Läsionen, die auf stärkere Aggressionen (Beißen, u.a.) hingedeutet hätten, wurden bei keinem Tier gefunden. Dies dürfte einerseits darauf zurückzuführen sein, daß vorher benachbarte Tiere gruppiert wurden (s. 3.4), die seit ihrer Aufstallung in der 11. Lebenswoche zumindest optisch und olfaktorisch durch die Trennwände Kontakt hatten. Außerdem hatten sie durch die Gruppierung keinen großen 'Umgebungswechsel', da die Gruppierung durch Entfernung der Trennwände vollzogen wurde (s. 3.4). Ein Umgebungswechsel könnte aber ein wesentlicher Faktor für auftretende Aggressionen nach Gruppierungen sein, da auch bei Schweinen, die ohne Neugruppierung in eine neue Umgebung kommen, vermehrt Aggressionen auftreten können (FRIEND et al. 1983, STOOKEY und GONYOU 1994). Ein weiterer Grund könnte darin liegen, daß in dieser Untersuchung kastrierte Männchen (Börge) gruppiert wurden. STOOKEY und GONYOU (1994) fanden bei Börgen deutlich weniger Kämpfe nach Neugruppierungen als bei Jungsaunen (das Gruppierungsgewicht der Tiere war ähnlich dem in dieser Untersuchung).

Um einen Hinweis auf Belastungen von Schweinen durch Neugruppierungen zu erhalten, werden oft die Gewichtszunahmen der Tiere analysiert. In dieser Untersuchung wurde kein Einfluß der Gruppierung auf die Gewichtszunahme festgestellt (s. 4.2.5). Aus der Literatur läßt sich kein genereller Effekt von Neugruppierungen auf die Gewichtsentwicklung bei Schweinen

ableiten: Eine verringerte Gewichtszunahme wurde entweder nicht gefunden (KRATZER et al. 1977, FRIEND et al. 1983, GREER 1987), trat nur in der ersten oder den ersten beiden Wochen nach Neugruppierung auf (MCGLONE und CURTIS 1985, GONYOU et al. 1988, STOOKEY und GONYOU 1994) oder trat nur zusammen mit einem weiteren Stressor wie Futterreduktion, Platzverringering oder Transport auf (SHERRITT et al. 1974, RANDOLPH et al. 1981, TAN und SHACKLETON 1990, MCGLONE et al. 1993).

Mit einem drei Wochen anhaltenden Effekt auf die untersuchten kardiophysiologischen Parameter wurde bei der Planung der Experimente aufgrund des aus der Literatur verfügbaren Wissensstandes (s.o.) nicht gerechnet, weshalb ein vierwöchiger Meßzeitraum nach der Gruppierung als ausreichend lang genug angesehen wurde, um den 'Endzustand' der Veränderungen ('Plateaubildung') abzubilden. Daher kann aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung keine Aussage darüber gemacht werden, ob mit dem Angleich der Wochenmedianwerte in in der 25. Lebenswoche bei den Versuchstieren an das Niveau der Kontrolltiere bereits ein Endzustand erreicht war. Da die Gruppenhaltung von Hausschweinen gegenüber der Einzelhaltung als die artgemäßere Haltungsform gilt (WECHSLER 1997), ist eine weitere Verringerung der HR respektive Erhöhung der SD1 bei den in Gruppe gehaltenen Versuchstieren in den folgenden Wochen nach der 25. Lebenswoche durchaus denkbar. Immerhin konnte anhand der langfristigen Effekte im Groomingexperiment (s. 5.3.4) gezeigt werden, daß das Niveau der Wochenmediane der Kontrolltiere in der 25. Lebenswoche noch keinen (altersgemäßen) 'biologischen Endzustand' darstellte, sondern durch die regelmäßigen Grooming-Simulationen in der genannten Richtung verändert werden konnte.

Die dreiwöchige Verringerung der basalen parasymphatischen Aktivität deutet auf eine länger anhaltende generelle Belastungsreaktion der Schweine auf die Gruppierung hin, da ein niedriger Vagustonus als ein Zeichen für Streß angesehen werden kann (s. 2.9).

Damit stellt sich die Frage, wodurch diese lang anhaltende Belastung der Schweine konkret verursacht wurde. Erhöhte Aggressionen oder Restriktionen bei der Nahrungsaufnahme kommen als Erklärung anscheinend nicht in Frage oder waren von untergeordnetem Einfluß (s.o.). Eine naheliegende Ursache könnte eine erhöhte Störung der Ruhephasen der Tiere durch andere Gruppenmitglieder sein, z.B. durch eine Umorientierung des Erkundungsverhaltens an den Körper der Gruppenmitglieder aufgrund fehlenden Beschäftigungsmaterials (s. 5.3.4). Auch wenn aus Zeitgründen in dieser Untersuchung keine quantitative Verhaltensauswertung durchgeführt wurde, so kann man aus der Betrachtung der Anzahl valider 5-min-Intervalle (s. Tab. A-2, Anh. II) indirekt auf eine mögliche Störung der Ruhephasen schließen, da sich bei einer Erhöhung der Unruhe in der Gruppe die Anzahl an ungestörten 5-min-Intervallen, in denen die Tiere durchgängig ruhig auf der Seite lagen (s. 3.3), im Wochenmedian verringern sollte. Eine Verringerung der Anzahl valider 5-min-Intervalle wurde lediglich in LW22 ($10,5 \pm 1,7$; Median der 16 Versuchstiere), der ersten Woche in Gruppenhaltung, gefunden. In LW23 ($21,0 \pm 2,9$) und LW24 ($24,0 \pm 2,9$), in denen ebenfalls signifikante Gruppierungseffekte auf die HR und die SD1 nachgewiesen wurden (s.o.), unterschied sich die Anzahl valider 5-min-Intervalle nicht wesentlich von der in LW21 ($20,5 \pm 1,4$) oder LW25 ($26 \pm 2,3$). Ein direkter Vergleich mit den Kontrolltieren ist auf dieser Ebene nicht möglich, da bei ihnen mehr Mes-

sungen pro Woche durchgeführt wurde (s. Tab. 3.1, S. 29); immerhin wurden auch bei den Kontrolltieren in LW20 ($20,5 \pm 2,3$) eine vergleichbar geringe Anzahl valider 5-min-Intervalle gefunden. Da die Anzahl der validen 5-min-Intervalle auch bei den Kontrolltieren zwischen den Wochen stark schwankte (zwischen 20,5 und 41,5), ist die Schlußfolgerung, daß die geringe Anzahl valider 5-min-Intervalle bei den Versuchstieren in der 22. Lebenswoche ausschließlich auf eine erhöhte Unruhe in den Gruppen zurückzuführen sei, nur unter Vorbehalt möglich. Die Tatsache, daß in der 23. und 24. Lebenswoche eine 'normale' Anzahl valider 5-min-Intervalle für die Auswertung zur Verfügung standen, obwohl die physiologischen Gruppierungseffekte bei der HR und der SD1 noch nachweisbar waren, deutet ebenfalls darauf hin, daß eine erhöhte Unruhe in den Gruppen nur bedingt als Ursache für die über drei Wochen verringerte basale parasympathische Aktivität der Tiere in Frage kommt. Dafür spricht auch der subjektive Eindruck aus den Videoanalysen, die zur Bestimmung der validen 5-min-Intervalle der telemetrischen Messungen durchgeführt wurden (s. 3.3): Eine auffällige Unruhe der Tiere nach der Gruppierung wurde nicht beobachtet.

Eine weitere Ursache könnte in einem veränderten REM-NREM-Schlafzyklus liegen, auch wenn der unmittelbare Einfluß von REM und NREM Schlafphasen auf die Messungen in dieser Untersuchung gering gewesen dürfte (s. 5.1.3). Es ist bekannt, daß Streß bei Schweinen einen Einfluß auf die REM und NREM Phasen haben kann. So führt warme Luft ($27 - 33 \text{ }^{\circ}\text{C}$) im Kopfbereich bei Ferkeln zu einer Verringerung der REM Phasen (GALLAND et al. 1993b). In einer Untersuchung von KOTRBACEK et al. (1990) führte eine 18-stündige Fastenperiode zu einer verringerten Schlafdauer mit kurzen NREM Phasen, die durch Aufwachen unterbrochen wurden; REM Phasen wurden nicht gefunden. Demnach ist nicht auszuschließen, daß auch eine Gruppierung zu Veränderungen im Schlafzyklus führen könnte. Schlaf ist essentiell für Entwicklung und Wachstum bei Schweinen (KOTRBÁČEK 1991). Da bei Mensch und Tier ein essentielles Schlafbedürfnis vorliegt und der Schlafverlauf (Schlaptiefe, Ablauf der einzelnen Schlafstadien) das Wohlbefinden beeinflußt (SCHMIDT 1977), könnten Änderungen im Nacht-Schlafzyklus auch einen Einfluß auf die basale parasympathische Tages-Ruheaktivität haben. Diese Überlegung bleibt aber rein hypothetisch, weil die Schlafstadien hier nicht untersucht wurden (s. 5.1.3). So weit bekannt, gibt es bisher keine Arbeiten, in denen Veränderungen des Schlafverlaufs als Anzeiger für Belastungen durch Haltungsbedingungen bei Hausschweinen untersucht wurden.

Ob und in welchem Ausmaß Faktoren wie erhöhte Aggression, eingeschränkter Ressourcenzugang (Futter, Liegefläche), Störungen durch Gruppenmitglieder, veränderter Schlafverlauf oder andere Faktoren als Ursachen für die gefundenen Effekte bei der HR und der HRV in Frage kommen, läßt sich aus dieser Untersuchung nicht abschließend beurteilen.

Das wesentliche Ergebnis ist aber, daß eine Gruppierung zu einer *Verringerung* in der basalen parasympathischen Ruheaktivität bei Hausschweinen führte, welche vergleichsweise *lange* bestehen blieb und *reversibel* war. Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß eine Gruppierung für Hausschweine zwar eine Belastung darstellt, aber nicht die Gruppenhaltung an sich.

5.3 Groomingexperiment

5.3.1 Gewöhnung der Tiere an die Grooming-Simulationen

Die Gewöhnung an die Grooming-Simulation erfolgte bei allen Tieren vor dem Haltungsexperiment zwischen der 17. und 19. Lebenswoche im Rahmen der Gewöhnung an die Elektroden- und Schutzgurte (s. 3.2 u. 3.5). Diese Gewöhnung¹ war keine Dressur im Sinne einer Kopplung mit einem externen positivem Stimulus (z.B. Futterbelohnung). Vielmehr mußten die Tiere lernen, daß die zunächst unbekannte Grooming-Simulation nicht mit anderen negativen Stimuli gekoppelt war. Dieser Lernprozeß war i.d.R. nach zwei- bis dreimaliger Wiederholung der Grooming-Simulation abgeschlossen. Danach legten sich stehende Tiere bei Beginn der Grooming-Simulation hin und liegende Tiere blieben liegen und die Tiere zeigten die unter 4.3.2 beschriebenen Verhaltensmuster. Diese Verhaltensreaktion trat fast immer auf und kann auch bei Wild- und Hausschweinen ohne Erfahrung mit Grooming-Simulationen durch einen für sie unbekanntem menschlichen Akteur ausgelöst werden (z.B. in Tierparks).

5.3.2 Biologische Funktion des Groomings bei Schweinen

Gegenseitige soziale Fellpflege (Grooming, s. Glossar) wurde von MEYNHARDT (1990) in seinen langjährigen Untersuchungen an Wildschweinen häufig beobachtet. Dabei wird mit der Rüsselscheibe systematisch die Körperoberfläche des Akzeptors abgetastet, wobei Fremdkörper (z.B. Läuse und Zecken) mit der Schnauze entfernt werden. MEYNHARDT schlußfolgert die Entfernung von Ektoparasiten als (eine) Funktion von Grooming beim Wildschwein aus der folgenden Beobachtung: Er fand Zecken insbesondere hinter den Ohren und in den Borsten des Nackenkamms, jene Bereiche, welche die Tiere durch Scheuern an den Malbäumen kaum erreichen. Eine Verringerung der Parasitendichte wird somit nach MEYNHARDT vor allem durch gegenseitige soziale Fellpflege erreicht.

Der Grooming-Akzeptor liegt dabei mit geschlossenen Augen auf der Seite, äußert tiefe Grunzlaute, läßt sich in jede Stellung schubsen und macht nach MEYNHARDT einen völlig entspannten Eindruck. Diese Beschreibung deckt sich mit den in dieser Studie gemachten Verhaltensbeobachtungen (s. 4.3.2).

MEYNHARDT beobachtete Grooming sowohl bei Sauen untereinander, als auch bei Sauen an Ferkeln, wobei ein positiver Zusammenhang zwischen Alter des Akteurs und der Häufigkeit des Groomings zu bestehen scheint. Auch Ferkel untereinander zeigten gegenseitiges Grooming ab der 8. Lebenswoche und später ließen sich auch die Mütter von ihrem Nachwuchs massieren.

Möglicherweise steht das gegenseitige Grooming bei Schweinen nicht ausschließlich im funktionalen Zusammenhang mit der sozialen Fellpflege, sondern ist noch - zumindest beim Akteur - ein Überbleibsel der Zitzenmassage während der Säugeperiode. Bei Schweinen ist das Säugen eine komplexe Interaktion zwischen Sau und Ferkeln (ALGERS und JENSEN 1985). Eine wesentliche Komponente dieses Zusammenspiels ist die Zitzenmassage der Ferkel bei der Sau, die während der Säugeperiode eine wichtige Rolle für Milchbildung und Milchausscheidung

¹ Gewöhnung fällt unter den Begriff Lernen, da ihre lang anhaltende Wirkung (im Gegensatz zur Habituation) nur durch Einspeicherung und Aufbewahrung in einem Gedächtnis vorstellbar ist (IMMELMANN et al. 1996).

bei der Muttersau spielt. ALGERS et al. (1991) fanden einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Umfang der Zitzenmassage durch die Ferkel und der Ausschüttung von z.B. Prolaktin bei der Sau. Dabei war die Ausschüttung abhängig von der Dauer der Massage oder einem kombinierten Effekt von Massagedauer und Anzahl massierender Ferkel, jedoch nicht von der Anzahl per se. Prolaktin steht im Zusammenhang mit dem Milchbildungsreflex: Beim Menschen setzt der Saugreiz des Kindes bei der Mutter im Hypophysenvorderlappen Prolaktin frei, welches in der Brustdrüse die Milchbildung anregt. Der Saugreiz löst aber auch den Milchausscheidungsreflex aus: Er bewirkt im Hypophysenhinterlappen die Ausschüttung von Oxytocin. Oxytocin bewirkt die Kontraktion jener Muskelfasern, welche sich um die Milchdrüsen und -gänge winden, wodurch die Milch aus den Zisternen gepreßt wird. Massagen der Brust und häufiges Trinken fördern den Milchausscheidungsreflex (LARGO 1998).

5.3.3 Kurzfristige Effekte der Grooming-Simulationen

Die unter 4.3.2 dargestellten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die fünf-minütigen Grooming-Simulationen (HGET) führten im Vergleich zum vorangegangenen 5-min-Intervall zu einer signifikanten Erhöhung der HR und einer signifikanten Verringerung der SD1, während die Reaktion bei der SD2 indifferent war. Die *Richtung* der Veränderung war somit dieselbe, wie im Gruppierungsexperiment (s. 5.2.3). Der Effekt war bei der HR und der SD1 auffällig einheitlich: in 174 untersuchten HGETs bei 16 Schweinen war die Richtung der Veränderung von HR und SD1 in jeweils 96 % gleich (SD2: Verringerung 61,5 % : Erhöhung 38,5 %). Auf individueller Ebene war der Effekt bei der SD1 sogar noch etwas deutlicher als bei der HR: während für die SD1 bei allen 16 Tieren ein signifikanter Unterschied gefunden wurde, war dies bei der HR 'nur' bei 14 Tieren der Fall, während 2 Tiere immerhin einen tendenziellen Unterschied zeigten. Auch im 5-min-Intervall nach dem HGET war noch ein signifikanter Effekt nachweisbar.

Die Ergebnisse belegen eine Verringerung der parasympathischen Aktivität (wg. SD1) während des HGET (und 5 min danach), was für eine 'Anspannung' der Schweine während der Grooming-Simulationen spricht. Dieser Effekt war dabei nicht exklusiv auf die experimentelle Situation beschränkt, sondern wurde auch bei mehreren, zufällig telemetrisch gemessenen, 'natürlichen' Groomingereignissen durch andere Schweine gefunden.

Daß Grooming bei Schweinen eine psycho-physische Anspannung hervorrufen soll, entspricht zunächst nicht der Erwartung.

AURELI et al. (1999) führten telemetrische Messungen der HR bei zwei adulten Rhesusaffenweibchen (*Macaca mulatta*) mit mittlerer Rangposition durch. Näherte sich ein dominantes Individuum erhöhte sich die HR, wogegen bei Annäherungen von verwandten oder subordinaten Individuen kein HR-Anstieg gefunden wurde. Grooming führte nach solchen Begegnungen zu einer rascheren Verringerung der HR, als dies in Kontrollsituationen der Fall war. Die Autoren interpretieren diese Ergebnisse dahingehend, daß eine Funktion von Grooming die 'Spannungsreduktion' ist. Auch BOCCIA et al. (1989) fanden bei einem Schweinsaffenweibchen (*Macaca nemestrina*) die stärkste HR-Verringerung nach Aggressionen, wenn das Tier

Akzeptor von Grooming war. FEH und MAZIÈRES (1993) simulierten Grooming bei Pferden. Sie fanden eine HR-Senkung nur dann, wenn sie Grooming im Halsbereich simulierten, ein Bereich, der auch von Pferden beim gegenseitigen Grooming präferiert wird. Sie vermuten einen direkten Einfluß von Grooming auf den Parasympathikus, da das zweitgrößte Ganglion beim Pferd (Ganglion stellatum) nah beim bevorzugten Groomingbereich liegt. Diese Argumentation ist allerdings nicht ganz schlüssig, da das Ganglion stellatum zum sympathischen Nervensystem gehört (MÖRIKE 1989). WIEPKEMA (1990) beschreibt eine Untersuchung von BRUIN, der die HR bei Pferden auf einem Laufband gemessen hat. Bei einigen Pferden sank die HR bei einer Laufgeschwindigkeit von 7 m/s von 160 auf 150 bpm wenn ein Betreuer nah bei den Tieren stand, sie freundlich auf den Hals klopfte (ähnlich den Grooming-Simulationen von FEH und MAZIÈRES, s.o.) und beruhigende Worte sagte.

Abgesehen von der Verringerung der HR beim Grooming-Akzeptor haben alle oben zitierten Untersuchungen eine weitere Gemeinsamkeit: die jeweiligen Grooming-Akzeptoren befanden sich entweder unmittelbar vor oder während des Groomings in einer potentiell psycho-physisch belastenden Situation. In den Studien von AURELI et al. und BOCCIA et al. (s.o.) war die HR durch die dem Grooming vorausgegangene Annäherung eines dominanten Gruppenmitglieds bzw. Aggression stark erhöht. Bei der Untersuchung von FEH und MAZIÈRES (s.o.) waren sowohl während der Grooming-Simulationen als auch bei den unmittelbar vorangegangenen Kontrollmessungen ohne Grooming-Simulation jeweils zwei Personen anwesend (die Messung der HR erfolgte mittels Stethoskop). Auch wenn die Pferde handzahn waren, kann eine anthropogen bedingte Erhöhung der HR in den Kontrollmessungen bei diesem experimentellen Design nicht ausgeschlossen werden (s. 5.1.4). So fanden JEZIERSKI et al. (1999) bei handzahmen Pferden zwar eine signifikant geringere HR während verschiedener Managementprozeduren als bei nicht handzahmen Tieren, dennoch erhöhte sich die HR beim unmittelbaren Kontakt mit bekannten Personen bei den handzahmen und den nicht handzahmen Pferden in ähnlichem Maß. In den Experimenten von BRUIN (s.o.) könnte das Laufband für die Pferde eine psychische Belastung darstellen, insbesondere wenn die Tiere nicht ausreichend an das Laufband gewöhnt sind (BAYLY et al. 1983, KING et al. 1995). Aus den Ergebnissen kann also nicht eindeutig abgeleitet werden, ob Grooming die HR auch unter einen Wert senken kann, den der Akzeptor unter 'psychisch-neutralen' Umständen zeigen würde.

Bei den Grooming-Simulationen dieser Studie lagen dagegen andere Bedingungen vor. Die unbeeinflussten Kontrollmessungen erfolgten in Abwesenheit eines Experimentators während die Tiere ruhig auf der Seite lagen. Auch während der Vor- und Nachphase der Grooming-Simulationen (HGET) war der Experimentator weder in der Bucht des jeweiligen Grooming-Akzeptors, noch in einer benachbarten Bucht (s. 3.5). Dadurch können antropogene Einflüsse auf die Vergleichsintervalle weitgehend ausgeschlossen werden. Die Erhöhung der HR bzw. Verringerung der SD1 während des HGET bezog sich also auf Vergleichswerte, die einen weitgehend 'psychisch neutralen' Zustand der Tiere abbildeten. Eine 'Spannungsreduktion' durch die Grooming-Simulationen, was von AURELI et al. (1999) als eine Funktion von Grooming angesehen wird (s.o.), war in dieser Untersuchung demzufolge nicht zu erwarten, da eine 'Anspannung' der Tiere in den Vergleichssituationen eher unwahrscheinlich war.

Ob die Verringerung der parasympathischen Aktivität während der Grooming-Simulationen, welche für eine psycho-physische Anspannung der Tiere spricht, auch eine Belastung darstellt, hängt letztendlich von der Bewertung des jeweiligen Individuums ab. Gegen eine Schlußfolgerung, daß die 'gemessene Anspannung' von den Tieren als 'Belastung empfunden' wurde, spricht aber eindeutig das Verhalten der Tiere, welches sie während der Grooming-Simulationen und auch bei innerartlichem Grooming zeigten (s. 4.3.2). Insbesondere die Tatsache, daß sich die Tiere nur selten den Grooming-Simulationen durch aufstehen entzogen (in diesen Fällen wurde der HGET abgebrochen), sondern sich meistens sogar auf die Seite legten, wenn sie im Stehen im Bauchbereich gegroomt wurden (diese Fälle konnten natürlich nicht analysiert werden, da der Akzeptor in der Vorphase nicht auf der Seite lag, was die Voraussetzung für die Auswertung der telemetrischen Daten war; s. 3.5), spricht dafür, daß Grooming für Schweine grundsätzlich einen positiven Stimulus darstellt. Während einige Verhaltensreaktionen für einen entspannten Organismus typisch sind (z.B. geringer Muskeltonus, geschlossene Augen), deuten andere Verhaltensmuster eher auf eine gewisse Anspannung hin (z.B. aufgerichtete Nackenhaare, 'Gänsehaut'). Diese Beobachtung stellt aber keinen Widerspruch dar, da sich auch bei uns aufgerichtete Nackenhaare und 'Gänsehaut' zeigen können, wenn man eine, subjektiv als wohltuend und entspannend empfundene, Massage erhält.

Vielleicht läßt sich die unmittelbare psycho-physische Reaktion der Schweine auf die Grooming-Simulationen am besten mit dem Begriff 'positive Anspannung' beschreiben.

Abschließend sei noch anzumerken, daß die hier gefundene Reaktion (Erhöhung der HR, Verringerung der SD1) der Schweine auf die Grooming-Simulationen und auf innerartliches Grooming zumindest teilweise mit der Haltungsumwelt der Tiere in Zusammenhang stehen könnte. Zu Beginn dieses Kapitels wurde erwähnt, daß sich in 174 untersuchten HGETs bei 16 Schweinen die HR in 96 % der Fälle erhöhte (die folgende Argumentation erfolgt anhand der HR, um einen Vergleich mit anderen Ergebnissen zu ermöglichen, s.u.). D.h. in 4 % der Fälle (entspricht 7 HGETs) verringerte sich die HR. Nun befanden sich von den 16 Schweinen zum Zeitpunkt der Grooming-Simulationen 8 Tiere in Einzelhaltung (LW26 u. LW27) und 8 Tiere in Gruppenhaltung mit Manipulationsobjekten (LW26 bis LW29; s. 3.5). Von den insgesamt 174 untersuchten HGETs stammten 115 von den 8 Schweinen in Einzelhaltung und 59 von den 8 Schweinen in Gruppenhaltung, wobei von den 7 HGETs, in denen die HR-Reaktion 'gegenläufig' war, nur 1 Fall (Nr.61: - 0,7 bpm) bei den erstgenannten, aber 6 Fälle (Nr.43: - 2,5 bpm, - 3,4 bpm; Nr.44: - 1,6 bpm; Nr.46: - 0,3 bpm, -0,7 bpm; Nr.51: - 7,6 bpm) bei den letztgenannten Schweinen auftraten. Prozentual ausgedrückt trat eine Verringerung der HR im HGET bei den einzeln gehaltenen Schweinen in nur 0,9 % der Fälle auf, wogegen dies bei den Schweinen in Gruppenhaltung bei 10,2 % der HGETs der Fall war. Zu diesem Unterschied, der anscheinend mit der Haltungsumwelt der Schweine in Zusammenhang steht, passen 2 nicht publizierte telemetrische Messungen von SCHWEIMLER (pers. Mitt. 1998), die an 2 nicht kastrierten Ebern in der 21. Lebenswoche durchgeführt wurden. Die beiden Eber wurden in einer Gruppe á 9 Tiere in einer 15,3 m² großen Bucht mit einem großen Wühlbereich (Langstroh) und vielfältigen Manipulationsobjekten, die oft ausgetauscht wurden, gehalten. Der eine Eber war ein souveränes, hochrangiges Tier, der andere ein ängstliches Tier mit niedrigem Rang.

Bei beiden führte eine fünf-minütige Grooming-Simulation zu einer Verringerung der HR um - 3 bpm (von 99 auf 96 bpm bzw. 115 auf 112 bpm). Auch wenn diese beiden Messungen aufgrund der geringen Anzahl lediglich anekdotischen Wert haben, so geben sie doch einen Hinweis darauf, daß die in dieser Untersuchung gefundenen physiologischen Effekte während der Grooming-Simulationen in einer optimalen 'natürlichen' Umwelt möglicherweise anders ausfallen würden.

5.3.4 Langfristige Effekte der Grooming-Simulationen

Während bei den 8 einzeln gehaltenen Schweinen in der ersten Woche der regelmäßigen Grooming-Simulationen (LW26) in den Änderungen der Wochenmediane zur Vorwoche bei den Parametern HR, SD1 und SD2 keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu den vorangegangenen Wochen (LW20 bis LW25) gefunden wurden, trat in der zweiten Woche (LW27) ein sehr starker Effekt auf: Im Vergleich zu allen vorangegangenen Wochen nahm die Verringerung zur Vorwoche bei der HR bzw. die Erhöhung zur Vorwoche bei den HRV-Parametern SD1 und SD2 signifikant zu (s. 4.3.3). Damit war die Richtung der Veränderungen bei allen drei Parametern nicht nur entgegengesetzt zu jener, die in der 22. Lebenswoche nach der Gruppierung der Versuchstiere im Haltungsexperiment (s. 4.2.4) gefunden wurde. Die Höhe der Veränderungen war auch stärker ausgeprägt (Vergleich der Mediane in LW27 im Groomingexperiment zur LW22 im Haltungsexperiment (Versuchstiere): -8,9 bpm zu 5,6 bpm (HR), 9,6 ms zu -4,2 ms (SD1), 14,0 ms zu -4,5 ms (SD2); s. Tab. 14b-c, Anh. XIII-XIV bzw. Tab. A-4, Anh. IV).

Die Ergebnisse deuten auf eine starke Erhöhung der basalen parasympathischen Ruheaktivität bei den Schweinen bedingt durch die regelmäßigen Grooming-Simulationen hin. Dieser starke Effekt erklärt auch, warum hier zum ersten Mal eine signifikante Veränderung bei der SD2 gefunden wurde: Obwohl dieser HRV-Parameter eher die Gesamtaktivität aller an der Steuerung des Herzschlags beteiligten Komponenten abbildet (s. 2.10), konnte sich hier der parasympathische Einfluß offensichtlich durchsetzen.

Der starke Effekt könnte mit den Haltungsbedingungen zusammenhängen, da die 8 Schweine einzeln gehalten wurden. Wenn die - nicht tiergerechte - Einzelhaltung bereits eine Belastung für die Tiere darstellt, wäre eine vergleichsweise geringe basale parasympathische Ruheaktivität nicht unwahrscheinlich. Damit würde sich der langfristige Effekt eines positiven Stimulus vermutlich stärker auswirken, als wenn die basale parasympathische Ruheaktivität aufgrund einer belastungsarmen Umwelt bereits auf einem hohen Niveau wäre. Allerdings dürfte der Nachweis dieser Annahme schwierig sein: Selbst wenn in 'tiergerechter' Gruppenhaltung der basale Vagustonus höher als in Einzelhaltung ist, was hier wegen des 'zu kurzen' Analysezeitraums nach der Gruppierung nicht gezeigt werden konnte (s. 5.2.3), wäre ein Effekt durch Grooming-Simulationen vermutlich kaum von dem Effekt durch das automatisch auftretende 'natürliche' Grooming durch Gruppenmitglieder zu trennen.

Es ist höchst unwahrscheinlich, daß die in der 27. Lebenswoche gefundenen starken Veränderungen bei den kardiologischen Parametern nicht durch die regelmäßigen Grooming-Simulationen in der 26. und 27. Lebenswoche verursacht wurden. Auch wenn hier im Prinzip eine unbeeinflusste Kontrolle fehlt (s. 5.1.2), wären derart sprunghafte Veränderungen aufgrund von (1) altersbedingten Effekten oder (2) der Gewöhnung an die Grooming-Simulationen biologisch nicht sinnvoll zu erklären.

Zu (1): Altersbedingte Sprünge während der ontogenetischen Veränderung von HR oder HRV (s. 5.2.1), die in dieser Größenordnung von einer Woche zur nächsten auftreten, wurden bisher - soweit bekannt - nie beobachtet. Da die ontogenetische Veränderung von HR und HRV in erster Linie vom Wachstum der beteiligten Organe und der neuronalen Reifung abhängt, sind hier auch eher gleichmäßige Veränderungen normal.

Zu (2): Starke Veränderungen der Reaktionsstärke während eines Gewöhnungsprozesses treten normalerweise am Anfang dieses Prozesses auf. Mit zunehmender Reizwiederholung nimmt die Stärke der Reaktion kontinuierlich ab. Die Gewöhnung der Schweine an die Grooming-Simulationen fand aber bereits mehrere Wochen (in LW17 bis LW19) vor den eigentlichen HGET-Experimenten statt (s. 5.3.1).

Über die langfristigen Wirkungen von Grooming auf die HR oder die HRV ist kaum etwas bekannt. Es gibt eine Untersuchung von SCAFIDI et al. (1990), in der frühgeborene Kinder, die regelmäßig taktil (streicheln) stimuliert wurden, im Vergleich zur Kontrollgruppe eine 21 % höhere tägliche Gewichtszunahme hatten und im Schnitt 5 Tage eher entlassen wurden. Allerdings hatte diese Form des 'Groomings' anscheinend keine Auswirkung auf die mittlere HR.

Gegenseitiges Grooming bei Schweinen wird in der Praxis i.d.R. eher kritisch beurteilt. Bei der konventionellen Haltung von Schweinen unter engen und reizarmen Bedingungen kann, neben den beiden Verhaltensstörungen Schwanzbeißen und Ohrenbeißen (WECHSLER 1997), auch Grooming¹ zu einem Problem² werden, da Schweine beim Fehlen von Beschäftigungsmaterial ihr Erkundungsverhalten an den Körper von Artgenossen umorientieren (FRASER et al. 1991). JONG et al. (1998a) fanden bei 21 Wochen alten Schweinen in konventioneller, reizarmer Gruppenhaltung signifikant mehr Grooming (massieren, knabbern) als bei Schweinen mit mehr Platz und Stroheinstreu. Auch HORRELL und NESS (1995) fanden bei früh abgesetzten (4 Wochen) Ferkeln in reizarmer Haltung signifikant mehr Grooming, Ohren- und Schwanzbeißen als bei Ferkeln in strukturreicher Haltung (z.B. Wühlbereiche mit Torf). Übermäßiges Grooming wird oft als Ursache für Störungen in der Gruppe gesehen: KOTRBÁČEK (1991) fand individuelle Unterschiede in den Zeitanteilen von Grooming bei 7 Wochen alten Ferkeln, wobei ein Tier gut ein Drittel der Zeit im wachen Zustand mit dem groomen (massieren, saugen) anderer

¹ Der Begriff 'Grooming' wird im Zusammenhang mit Hausschweinen in dieser Studie, soweit bekannt, erstmalig verwendet. In den meisten Studien werden Begriffe wie 'massieren' (engl.: massaging), 'saugen' (engl.: suckling) oder 'knabbern' (engl.: nibbling) verwendet. Da Grooming ein etablierter ethologischer Terminus ist (s. Glossar) und das Verhalten auch unter 'natürlichen' Bedingungen gezeigt wird (s. 5.3.2), erschien die Verwendung des Begriffs angemessen.

² An dieser Stelle sei kurz erwähnt, daß bei den Schweinen, die in dieser Untersuchung in Gruppen gehalten wurden, keine Läsionen im Bauch- oder Kopfbereich bzw. an Schwänzen (kupierr) oder Ohren beobachtet wurden, die auf Grooming zurückgeführt werden konnten.

Ferkel verbrachte (dieses Tier konnte nicht einschlafen, ohne an einem anderen Gruppenmitglied zu saugen). Übermäßiges Grooming wird oft als unerwünschtes Begleitphänomen konventioneller Schweinehaltung angesehen, welches zu 'Unbehagen' (engl.: discomfort) bei den Tieren (Grooming-Akzeptoren) und zu Störungen der Liege- und Schlafphasen in der Gruppe führen soll, woraus als Empfehlung für die Praxis die Separation der Tiere abgeleitet wird (KOTRBÁČEK 1991).

Die hier gefundenen Ergebnisse bezüglich der langfristigen Effekte durch regelmäßige Grooming-Simulationen weisen dagegen darauf hin, daß nicht Grooming an sich das eigentliche Problem darstellt. Ganz im Gegenteil, die starke Erhöhung der basalen parasymphatischen Ruheaktivität in der zweiten Woche (LW27), ist ein Indiz für einen positiven Einfluß regelmäßigen Groomings auf die Homöostase von Schweinen. Wie bereits im Abschnitt 2.9 dargestellt wurde, ist ein hoher Vagustonus mit einer effizienteren autonomen Kontrolle verknüpft, wodurch eine erhöhte Sensitivität und Reaktivität des Organismus auf Veränderungen in der Umwelt gewährleistet ist (PORGES et al. 1996, FRIEDMAN und THAYER 1998b, THAYER et al. 1997). Dagegen ist ein Organismus mit einer niedrigen parasymphatischen Aktivität durch eine erhöhte Streßempfindlichkeit gekennzeichnet (PORGES 1995b).

Aufgrund dieses offensichtlich positiven Effekts von Grooming und da Grooming per se kein unnatürliches Verhalten bei Schweinen darstellt, wie die Beobachtungen an Wildschweinen belegen (s. 5.3.2), ist eine Schlußfolgerung, Grooming in der Praxis durch Separation zu unterbinden, nicht im Sinne einer artgemäßen Haltung von Hausschweinen. Es wäre sinnvoller die Ursachen von 'übermäßigem' Grooming zu vermeiden, welche insbesondere in einer reizarmen Haltungsumwelt zu sehen sind (s.o.).

5.4 Allgemeine Diskussion

Anhand der gefundenen Ergebnisse lassen sich die am Ende der Einleitung (s. 1) formulierten Fragestellungen folgendermaßen beantworten:

Zu Frage 1: Lassen sich bei Schweinen - entgegen der allgemeinen Auffassung (s. 1) - langfristige Auswirkungen von Änderungen der sozialen Umwelt mit HR und HRV dokumentieren?

Diese Frage kann mit ja beantwortet werden. Sowohl die Gruppierung vorher einzeln gehaltener Schweine, als auch die regelmäßigen Grooming-Simulationen führten zu 'langfristigen' Änderungen der HR und der HRV.

Die wesentliche Voraussetzung für den Nachweis langfristiger Veränderungen bestand in der Verwendung 'basaler' Parameterwerte, welche das 'generelle Ruhenniveau' der Parameter in einem begrenzten Zeitraum in der bestmöglichen Form abbildeten.

Unter 5.1 wurden die hierfür notwendigen methodischen Bedingungen ausführlich diskutiert. Hierzu gehörten neben der Berücksichtigung individueller und regulärer, ontogenetischer Einflüsse (s. 5.1.2) auch die Minimierung motorischer (s. 5.1.1), tageszeitlicher (s. 5.1.3) und antropogener bzw. meßtechnischer (s. 5.1.4 u. 5.1.5) Einflüsse. Weiterhin wurde versucht, exogene Einflußfaktoren wie Temperatur, Licht, Emissionsbelastung, Geräuschkulisse, etc. möglichst konstant zu halten (s. 3.1.1 bis 3.1.6).

Obwohl all diese Faktoren berücksichtigt bzw. weitgehend konstant gehalten wurden, traten immer noch Schwankungen in den Parameterwerten auf, selbst wenn die zugrunde liegenden telemetrischen Meßintervalle (hier: 5 min) zeitlich eng beieinander lagen. Diese Schwankungen traten bei allen Tieren auf, unabhängig davon, ob sich die Tiere in Einzel- oder Gruppenhaltung befanden. Die Ursachen für diese z.T. starken Schwankungen waren allerdings selten objektiv nachvollziehbar. Vermutlich sind hierfür sowohl interne Rhythmen längerer Schwingungsdauer (z.B. Thermoregulation, RAVENSWAALJ-ARTS et al. 1993, KORTHALS et al. 1995), als auch rhythmusunabhängige homöostatische Schwankungen (z.B. in Abhängigkeit von der letzten Nahrungsaufnahme vor der telemetrischen Messung) oder allgemein die augenblickliche 'Stimmung' des Tieres mit verantwortlich. Um den Einfluß dieser nur sehr bedingt standardisierbaren Schwankungen auszugleichen, wurde in dieser Untersuchung mit den Wochenmedianen (s. 3.6) der Parameterwerte gearbeitet. Der Zeitraum einer Woche wurde gewählt, um eine ausreichende Anzahl valider 5-min-Intervalle (s. 3.3) für die Berechnung eines Medians zu erhalten. Da die Schweine nicht grundsätzlich über längere Zeiten (mindestens 5 min) ruhig auf der Seite lagen, nur weil 'zufällig' gerade eine telemetrische Messung durchgeführt wurde, mußte davon ausgegangen werden, daß nur ein Teil der gemessenen Daten letztendlich für die Auswertung zur Verfügung stand. Es hat sich gezeigt, daß innerhalb des hier durchgeführten Versuchsdesigns eine Woche einen geeigneten Zeitraum zur Bestimmung der Medianwerte darstellte (die kleinste Anzahl valider 5-min-Intervalle einer Woche betrug $n = 5$ bei Tier Nr.54 in LW22; s. Tab. A-2, Anh. II).

Das hier verwendete Verfahren zur Bestimmung basaler Parameterwerte war vergleichsweise zeit- und arbeitsaufwendig, führte aber letztlich zum Nachweis langzeitiger Veränderungen, sowohl der regulären, ontogenetischen Änderungen, als auch der Effekte durch die experimentellen Stimuli. Soweit bekannt, wurde eine vergleichbar aufwendige Auswertung zur Analyse langfristiger Effekte auf die HR oder die HRV bisher nicht angewendet. Vielleicht liegt hierin die Ursache für die allgemeine Auffassung, daß HR-Messungen kaum Aussagen über langfristige Effekte zulassen, die sich aus der Haltung von Tieren ergeben (SCIENTIFIC VETERINARY COMMITTEE 1997, s. S. 1).

Zu Frage 2: Bilden HRV-Parameter kurz- und langfristige Reaktionen auf soziale Stimuli bei Schweinen möglicherweise besser ab als einfache HR-Messungen?

Sowohl mit der HR als auch mit dem HRV-Parameter SD1 konnten die in dieser Studie gefundenen langfristigen Effekte durch die Gruppierung im Haltungsexperiment genauso wie die kurz- und langfristigen Effekte regelmäßiger Grooming-Simulationen dokumentiert werden. Daher ist die Frage berechtigt, warum man die HRV messen soll, wenn sich doch die Effekte anscheinend ebenso gut mit der HR abbilden lassen. Immerhin läßt sich die HR sehr viel einfacher messen; im einfachsten Fall kann sie über den Pulsschlag hinreichend genau bestimmt werden, wozu man im Prinzip außer einer Uhr keine technischen Geräte benötigt. Zudem ist die HR im Gegensatz zu den meisten HRV-Parametern deutlich unempfindlicher gegenüber Meßartefakten (COUMEL et al. 1995).

Bei der HR und der SD1 waren die Effekte, bezogen auf die signifikanten Unterschiede, in den meisten Fällen zunächst vergleichbar. Ein qualitativer Unterschied zeigte sich aber bei der Auswertung des Haltungsexperiments (s. 4.2.4). Da die Analyse der Daten mittels absoluter Werte (s. Abb. 4-2, S. 39) als nicht ganz unproblematisch angesehen wurde (bei den Versuchstieren war die HR im Median bereits vor der Gruppierung deutlich, wenn auch nicht signifikant, höher als bei den Kontrolltieren), wurde zusätzlich der Einfluß der Gruppierung auf die *Änderung* der Parameter zur Vorwoche (s. Abb. 4-3, S. 43) untersucht. Dabei stellte sich heraus, daß die Änderung in der 22. Lebenswoche bei der SD1 deutlicher als bei der HR war: Im Gegensatz zur HR war die Änderung bei der SD1 auch zu *allen* bei den Kontrolltieren gefundenen Änderungen zu Vorwoche signifikant verschieden, was als Bedingung für eine 'wirklich akzeptable' signifikante Abweichung angesehen wurde (s. 4.2.4).

Diese 'deutlichere' Änderung bei der SD1 ist auch auf individueller Ebene erkennbar: Der Vergleich der Änderungen der individuellen Wochenmediane der Parameter zur Vorwoche (s. Tab. A-4, Anh. IV) zeigt, daß sich bei *allen* 16 Schweinen die SD1 im Wochenmedian in der ersten Woche der Gruppenhaltung im Vergleich zur Vorwoche zwischen - 0,4 ms und - 11,1 ms verringerte. Dagegen trat eine Erhöhung der HR 'nur' bei 13 Schweinen auf (0,3 bpm bis 18,8 bpm), wogegen sich die HR bei 3 Tieren (Nr.39, 51, 52) verringerte.

Auch beim Vergleich der kurzfristigen Effekte der Grooming-Simulationen (HGET) auf individueller Ebene (s. Tab. 4-4, S. 53 bzw. 5.3.3) war der Effekt bei der SD1 (Signifikanz bei allen 16 Tieren) etwas deutlicher als bei der HR (Signifikanz bei 14 Tieren).

Beim HRV-Parameter SD2 schienen sich zwar oft Effekte anzudeuten, eine signifikante Veränderung wurde aber nur bei der Untersuchung der langfristigen Einflüsse der Grooming-Simulationen in LW27 nachgewiesen, in der auch die stärksten Veränderungen bei der HR und der SD1 gefunden wurden.

Vergleicht man die Signifikanzen in den verschiedenen Experimenten, deutet sich eine qualitative Reihenfolge der 'Effektstärke' auf die kardiologischen Parameter an, welche insbesondere bei den langfristigen Veränderungen sichtbar wurde:

Effektstärke: SD1 > HR >>> SD2

Möglicherweise hängt diese Reihenfolge mit der Menge der maßgeblich beteiligten Steuerungskomponenten des Herzschlags zusammen: Um so weniger interne Steuerungskomponenten einen Parameter beeinflussen, desto 'genauer' werden - exogen und endogen verursachte - interne Veränderungen der jeweiligen Steuerungskomponente in diesem Parameter abgebildet. In dieser Untersuchung war die Steuerungskomponente des Herzschlags mit dem mutmaßlich größten Einfluß der Parasympathikus (Vagustonus), da (1) der parasympathische Einfluß auf den Herzschlag beim ruhenden Organismus dominiert (HAINSWORTH 1995, s. 2.5) - die telemetrischen Messungen erfolgten bei ruhig auf der Seite liegenden Schweinen - und (2) der Vagustonus als quantifizierbarer Index für die Stärke einer Streßreaktion und der Streßempfindlichkeit eines Organismus angesehen werden kann (PORGES 1995b; s. 2.9).

Während die SD1 fast ausschließlich durch die parasympathische Aktivität beeinflusst wird (TULPPO et al. 1996b), reagiert die HR sowohl auf parasympathische als auch auf sympathische

Veränderungen (ECKBERG 1983). Zudem haben die Ergebnisse dieser Untersuchung gezeigt, daß die HR offensichtlich stärker von altersabhängigen (Wachstums-) Einflüssen abhängt, als die HRV-Parameter. Die SD2 wird durch sehr viele interne Steuerungsparameter beeinflusst, weswegen sie in der Literatur als Maß für eine sogenannte 'overall activity' (TULPPO et al. 1996b) diskutiert wird.

Auch wenn die hier gefundenen Effekte mit der HR fast genauso gut wie mit der SD1 nachgewiesen werden konnten, kann man davon ausgehen, daß die SD1 in anderen Fällen der HR zur Dokumentation von kurz- und langfristigen Veränderungen der basalen parasympathischen Aktivität überlegen sein kann. Unter 2.7 wurden bereits einige Beispiele hierfür aus dem Humanbereich angesprochen. Insbesondere wenn die Veränderungen im Vagustonus eher gering sind, sollten sich diese eher mit der SD1 als mit der HR nachweisen lassen. Bei Tieren mit einer sehr niedrigen Ruheherzfrequenz (z.B. Pferde) sollte die SD1 ebenfalls der bessere Indikator für Änderungen im Vagustonus sein (wg. HR = reziproke Meßgröße, s. 2.5).

Dennoch kann die SD1 die HR nicht komplett ersetzen. Insbesondere in der angewandten Nutztierforschung können sich HR und HRV bei vielen Fragestellungen sinnvoll ergänzen. Da zur Bestimmung der HR im Prinzip ein einzelnes RR-Intervall genügt, erhält man mit relativ wenigen Werten, die in größeren Abständen gemessen werden können, schnell einen Überblick über generelle Tendenzen. So können die entscheidenden Abschnitte einer Veränderung rasch und einfach lokalisiert werden, um diese Bereiche dann genauer mittels HRV-Analysen auszuwerten.

Zu Frage 3: Kann man anhand der Richtung der Veränderung der kardiophysiologischen Parameter darauf schließen, wie Tiere einen Stimulus bewerten (im Sinne eines 'positiven' oder 'negativen' Stimulus)?

Zur Beantwortung dieser Frage muß zwischen den (1) unmittelbaren, kurzfristigen Reaktionen und (2) langfristigen Effekten unterschieden werden.

Zu (1): Unmittelbare, kurzfristige Reaktionen lassen, wenn überhaupt, anscheinend nur sehr eingeschränkte Rückschlüsse auf die Art eines Stimulus zu. Die signifikante Erhöhung der HR bzw. Verringerung der SD1 während des mutmaßlich positiven Stimulus der Grooming-Simulationen wurde unter 5.3.3 ausführlich diskutiert.

In der Literatur werden als unmittelbare Reaktionen der HR auf unterschiedliche Stimuli in erster Linie HR-Erhöhungen beschrieben (mehrere Beispiele wurden unter 2.3 dargestellt). BEERDA et al. (1998) testeten die physiologischen Reaktionen von Hunden auf verschiedenen akute Stressoren: während sich die HR als Reaktion auf alle Stimuli unspezifisch erhöhte, wurden bei einigen Stimuli keine Erhöhungen der Cortisolkonzentration im Speichel festgestellt. Die Autoren führen diese Unterschiede bei der Cortisolerhöhung auf die Verschiedenartigkeit der Stimuli zurück und teilen diese in aversive (mit Cortisolerhöhung) und moderat aversive (ohne Cortisolerhöhung) Stimuli ein. Da Hunde vergleichbare HR-Erhöhungen sowohl bei Schockvermeidungs-Tests als auch bei Futterbelohnungs-Tests zeigen (ANDERSON und BRADY 1972), schlußfolgern BEERDA et al. (1998), daß (kurzfristige) „HR-Erhöhungen am

besten als generelle Reaktion auf potentiell bedeutungsvolle Ereignisse angesehen werden sollten, unabhängig davon, ob diese als positiv oder negativ empfunden werden“. Diese Interpretation läßt sich auch auf Hausschweine übertragen. Hausschweine reagieren z.B. auf Elektroschocks (Elektrozaun) mit einer starken Erhöhung der HR (KENNEDY et al. 1995). Eine ebenfalls sehr starke Erhöhung der HR zeigen Hausschweine in Erwartung der unmittelbar folgenden Fütterung bei Erscheinen des Futterwagens (ROBERT et al. 1997) oder wenn kurz vor Fütterung eine Glocke geläutet wird (SCHOUTEN et al. 1991).

Eine kurzfristige, starke Senkung der HR muß dagegen nicht zwingend für eine ‘Entspannung’ des Organismus sprechen. Unter 2.3 wurde bereits die kurzfristige Senkung der HR im Zusammenhang mit dem ‘freezing’-Verhalten angesprochen, welches einige Tiere bei Annäherung potentieller Predatoren zeigen, wodurch ein verfrühtes Fluchtverhalten unterdrückt wird (GABRIELSEN et al. 1977 u. 1985, ESPMARK und LANGVATN 1985). Es ist kaum vorstellbar, daß sich Tiere unter solchen Umständen nicht in einer ‘angespannten’ Situation befinden sollen.

Diese Beispiele machen deutlich, daß kurzfristige Veränderungen der HR (und der HRV) nicht losgelöst von der Situation, dem Verhalten der Tiere und - wenn möglich - von anderen aussagekräftigen physiologischen Parametern gesehen werden sollten.

Zu (2): Die Ergebnisse dieser Untersuchung haben gezeigt, daß langfristige Veränderungen der HR und der HRV sehr viel besser Rückschlüsse auf die Art eines Stimulus zulassen, als dies bei kurzfristigen Effekten der Fall ist. Die wesentliche Voraussetzung für den Nachweis langfristiger Veränderungen wurde unter Frage 1 ausführlich diskutiert (s.o.).

Während die Gruppierung zu einer 3 Wochen anhaltenden signifikanten Erhöhung der HR und Verringerung der SD1 führte, riefen die regelmäßigen Grooming-Simulationen in der zweiten Versuchswoche (LW27) genau den gegenteiligen Effekt hervor, der in der Höhe der Veränderungen zudem noch stärker war. Diese Veränderungen der Parameterwerte - insbesondere jene der SD1 - konnten auf Veränderungen der basalen parasympathischen Aktivität der Schweine zurückgeführt werden. Dabei entsprach die Richtung der Veränderung der ‘Art’ des Stimulus: Durch Neugruppierungen werden Schweine meist stark belastet (BORELL 1995b), womit die Gruppierung als ‘negativer’ Stimulus angesehen werden kann. Nach PORGES (1995b) kann Streß als ein autonomer Zustand definiert werden, der durch eine verringerte parasympathische Aktivität gekennzeichnet ist (s. 2.9). Die erwartete Belastung der Schweine durch den ‘negativen’ Stimulus der Gruppierung wurde durch die dreiwöchige Verringerung der basalen parasympathischen Aktivität im Haltungsexperiment bestätigt, wobei die Länge des Effekts nicht erwartet wurde (s. 5.2.3). Dagegen können die regelmäßigen Grooming-Simulationen aufgrund des ‘entspannten’ Verhaltens der Schweine während des Groomings als ‘positive’ Stimuli betrachtet werden (s. 5.3.2 u. 5.3.3). Die von AURELI et al. (1999) vermutete Funktion der ‘Spannungsreduktion’ von Grooming konnte in dieser Untersuchung aufgrund der Erhöhung der basalen parasympathischen Aktivität in LW27 durch die regelmäßigen Grooming-Simulationen im Rahmen eines langfristigen Effekts auch für Schweine bestätigt werden (s. 5.3.4).

5.5 Bedeutung der Ergebnisse für die praktische Schweinehaltung

Eine vergleichsweise späte (Neu-) Gruppierung von Mastschweinen, wie dies in dieser Untersuchung im Haltungsexperiment erfolgte, ist in der Praxis keineswegs unüblich. Da die Gewichtszunahmen individuell variieren, werden Mastschweine kurz vor dem Schlachtermin oft nach Gewicht neu zusammengestellt, um Tiere, die noch nicht das optimale Verkaufsgewicht erreicht haben, etwas länger zu mästen (STOOKEY und GONYOU 1994). Im Vergleich zu praxisüblichen Neugruppierungen, bei denen Schweine i.d.R. mit mehr unbekanntem Tieren zu größeren Gruppen formiert werden, als dies in dieser Untersuchung der Fall war, dürfte die Belastung der Tiere im Haltungsexperiment eher gering ausgefallen sein. Für diese Annahme spricht auch, daß keine Hinweise auf stärkere Aggressionen und kein Einfluß der Gruppierung auf die Gewichtszunahmen der Tiere gefunden wurden (s. 5.2.3). Dennoch war die basale parasymphatische Aktivität der Schweine über 3 Wochen nach der Gruppierung signifikant verringert. Unter praxisüblichen Bedingungen könnte dieser Effekt aufgrund der oben genannten Umstände durchaus noch länger dauern.

Unter dem Begriff Streßempfindlichkeit wird in der Tierzucht die besondere Anfälligkeit von Nutztieren gegenüber Belastungen im Produktionsprozeß verstanden, die z.B. auch beim Transport oder der Schlachtung auftreten (LENGERKEN et al. 1997). Da ein Organismus mit einem niedrigen parasymphatischen Tonus durch eine erhöhte Streßempfindlichkeit gekennzeichnet ist (PORGES 1995b), muß mit einer erhöhten Anfälligkeit der Schweine auf die Belastungen durch den Transport, die Bedingungen auf dem Schlachthof und die Schlachtung selbst gerechnet werden, wenn die basale parasymphatische Aktivität der Schweine aufgrund einer Neugruppierung kurz vor dem Schlachtermin noch deutlich verringert ist. Damit stellt sich die Frage, ob eine solche Neugruppierung zwecks Angleich der Mastendgewichte noch sinnvoll ist, wenn man mit dem Schlachtermin bis zur Wiederherstellung einer 'normalen' basalen parasymphatischen Aktivität der Schweine warten muß, sofern man die Nachteile einer erhöhten Streßempfindlichkeit (z.B. Transportverluste, PSE-Fleisch) minimieren möchte.

Schweine sind soziale Tiere, und es sollte selbstverständlich sein, daß sie in Gruppen gehalten werden müssen (WECHSLER 1997). Da es sich bei Schweinegruppen um geschlossene Verbände handelt, treten beim Zusammentreffen von fremden Tieren regelmäßig Aggressionen auf (SAMBRAUS 1981). Optimal sind deshalb Haltungsformen, bei denen die Schweine über lange Zeit in den selben Gruppen gehalten werden (WECHSLER 1997).

In dieser Untersuchung führte die Gruppierung zu einer dreiwöchigen Verringerung der basalen parasymphatischen Aktivität, was auf eine länger anhaltende generelle Belastungsreaktion der Schweine hindeutete (s. 5.2.3). Ein wesentliches Ergebnis des Haltungsexperiments war aber der Angleich der Parameterwerte an die Kontrollwerte, was dafür spricht, daß es sich bei der durch die Gruppierung hervorgerufenen Belastungsreaktion um einen reversiblen Effekt handelt. Daraus kann man schlußfolgern, daß nicht die Gruppenhaltung an sich, sondern die Gruppierung die eigentliche Belastung darstellt (s. 5.2.3). Dies spricht für die oben zitierte Forderung von WECHSLER (1997), daß Schweine möglichst lange in denselben Gruppen gehalten werden sollten.

Für die Gruppenhaltung an sich spricht auch die offensichtlich 'vagusfördernde' Wirkung sozialen Groomings, welche bei den regelmäßigen Grooming-Simulationen als langfristiger Effekt gefunden wurde. Die in der Praxis auftretenden negativen Effekte übermäßigen sozialen Groomings bei Schweinen werden insbesondere durch die üblicherweise reizarme Haltung mit hoher Besatzdichte hervorgerufen (s. 5.3.4). Solche negativen Auswirkungen sollten daher durch eine Verbesserung der Haltungsumwelt verhindert werden und nicht durch Separation der Tiere, wie von KOTRBÁČEK (1991) vorgeschlagen wurde, oder gar durch Abklemmen von Zähnen bei Ferkeln (WECHSLER 1997).

5.6 Ausblick

Mit dieser Arbeit wurde bezüglich der HRV beim Schwein praktisch Neuland betreten. Zu Beginn dieser Untersuchung Ende 1995 existierten im Rahmen der angewandten Nutztierforschung keine Veröffentlichungen zu diesem Thema. Messungen der HRV beim Schwein erfolgten bisher vor allem im Bereich der Grundlagenforschung und als Modellstudien für humanmedizinische Fragestellungen (COHEN et al. 1991, GOOTMAN et al. 1991, TUINGA et al. 1996, ZWIENER et al. 1996, KUWAHARA et al. 1999).

Die hier gefundenen Ergebnisse haben gezeigt, daß mit der Analyse der HRV sowohl kurzfristige als auch langfristige Effekte sozialer Stimuli auf den internen Zustand von Hausschweinen dokumentiert werden können. Besonders geeignet scheinen dafür jene HRV-Parameter zu sein, die im hohen Maß den parasympathischen Einfluß (Vagustonus) auf den Herzschlag abbilden (s. 2.8), wozu auch die hier verwendete SD1 aus der quantitativen Lorenzplot Analyse gehört (s. 2.10). Eine verringerte basale parasympathische Aktivität gilt nach PORGES (1995b) als Hinweis auf Streß und auf eine erhöhte Streßempfindlichkeit (s. 2.9). Werden die notwendigen methodischen Voraussetzungen beachtet (s. 5.1) kann z.B. die SD1 ein quantifizierbares Maß für die Belastung eines Organismus darstellen. Auf der Ebene von Wochenmedianen der SD1 (mit Einschränkung auch der HR, s. 5.4) kann die basale parasympathische Aktivität von Schweinen und anderen Nutztieren abgebildet werden. Sie kann durch Einflüsse in der sozialen Umwelt verändert werden, sowohl in 'negativer' Richtung (längerfristige Verringerung durch die Gruppierung), wie in 'positiver' Richtung (Grooming-Simulationen).

Mit Hilfe von HRV-Analysen ließe sich also die Haltungsumwelt von Nutztieren quantifizierbar durch Maximierung der basalen parasympathischen Aktivität optimieren. Dies hätte auch den positiven Effekt einer verringerten Streßempfindlichkeit (s.o.), was aufgrund unvermeidbarer Belastungen im Produktionsprozeß (z.B. Transport zum Schlachthof) von Vorteil sein kann.

Eine weitere mögliche Anwendung der HRV in der Landwirtschaft kann z.B. die Zucht auf eine geringere Streßempfindlichkeit durch züchterische Auswahl von Schweinen mit einem hohen basalen Vagustonus sein. Kardiologische Parameter können hier besonders geeignet sein, da das Herz-Kreislauf-System beim Schwein zu den von der einseitigen Züchtung auf hohes Muskelbildungsvermögen besonders betroffenen Organsystemen gehört (s. 2.1). Eine

Selektion in Richtung geringerer Streßempfindlichkeit auf der Basis kardiologischer Parameter dürfte gleichzeitig auch die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems beim Schwein verbessern bzw. wieder 'normalisieren'.

Das Schwein hat als Modelltier für die Untersuchung der ontogenetischen Entwicklung, der Physiologie und pathologischer Erscheinungen beim Menschen eine große Bedeutung erlangt (RUGGIERO et al. 1992). So wurden an Schweinen z.B. Zusammenhänge zwischen HR bzw. HRV und plötzlichem Kindstod (TONG et al. 1995), plötzlichem Herztod (PARKER et al. 1987) oder Hyperthermie (HAGGENDAL et al. 1990, GALLAND et al. 1993a) untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie haben gezeigt, daß das Schwein auch als Modelltier für psychogene Zusammenhänge beim Menschen dienen könnte. Schweine haben nicht nur in der kardiologischen Anatomie große Ähnlichkeit mit dem Menschen. Sie sind auch, wie der Mensch, phylogenetisch an das Leben in der sozialen Gruppe angepaßt. Nun zeigten HRV-Messungen an Kindern und Jugendlichen signifikante Zusammenhänge zwischen sozialen Verhaltensproblemen (z.B. anormales aggressives oder antisoziales Verhalten) mit einem niedrigen basalen Vagustonus (MEZZACAPPA et al. 1996 u. 1997) bzw. einer geringen Regulationfähigkeit (Stärke der Veränderung, s. 2.9) des Vagustonus (PORGES et al. 1996). Aufgrund der komplexen sozialen Ontogenese beim Menschen, sind solche Ergebnisse bezüglich Ursache und Wirkung allerdings schwierig zu interpretieren. Schweine könnten hier als Modelltiere herangezogen werden, da sich bei ihnen genetische und ontogenetische Einflüsse besser standardisieren lassen als beim Menschen, wo dies aus ethischen Gründen so nicht möglich ist.

Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen Aggressivität und sympatho-vagaler Balance des autonomen Nervensystems beim Schwein sind natürlich auch in der Nutztierforschung von Interesse. So könnte die HRV ein nützliches Werkzeug bei der Zuchtauswahl für Schweine mit geringem Aggressionsniveau sein.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine optimale Anwendung der HRV in der Nutztierforschung, ob beim Schwein oder anderen Nutztieren, ist allerdings eine weitgehende Erforschung der grundlegenden Zusammenhänge. Dazu gehören Einflüsse der Tagesperiodik (KUWAHARA et al. 1999), die Stärke individueller Unterschiede oder von Rassenunterschieden und Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit von 'Einzelmessungen' im Vergleich zur Verwendung von z.B. Wochenmedianen. Ein wichtiger Aspekt ist die Erforschung der altersabhängigen Veränderung der HRV bei Schweinen (s. 5.2.1): Anstieg, Umkehrpunkt (bei einem Plateau wäre ein gutes Modellalter) und Abfall der HRV-Parameter im Laufe der ontogenetischen Entwicklung.

Das Spektrum der zukünftigen Anwendungen der HRV in der angewandten Nutztierforschung wird wahrscheinlich sehr viel weiter sein, als in diesem kurzen Ausblick dargestellt. Auf verschiedenen internationalen Fachtagungen der letzten Jahre wurden neben Ergebnissen dieser Untersuchung (z.B. HANSEN und BORELL 1997 u. 1998) auch erste Ergebnisse anderer Arbeitsgruppen vorgestellt, die auf ein zunehmendes Interesse an der HRV bei Nutztieren hindeuten (JONG et al. 1998b, FORDE und MARCHANT 1999).

6. Schlußfolgerungen

Aus der vorliegenden Arbeit können folgende Schlußfolgerungen abgeleitet werden:

1. Mit der Analyse der Herzschlagfrequenz (HR) und der Herzschlagvariabilität (HRV, hier: SD1 und SD2) aus telemetrischen Messungen können langfristige Effekte durch Veränderungen in der sozialen Umwelt von Schweinen dokumentiert werden.
2. In der Summe aller Ergebnisse wurden Unterschiede in der Stärke der gefundenen Effekte bei den Parametern HR, SD1 und SD2 deutlich, aus denen sich folgende Rangfolge in der 'Effektstärke' ableiten läßt: $SD1 > HR \gg \gg SD2$. Diese Reihenfolge kann mit der Menge der internen Steuerungskomponenten erklärt werden, welche die einzelnen Parameter beeinflussen: Um so weniger Steuerungskomponenten maßgeblich beteiligt sind, desto größer ist die relative Effektstärke des Herzschlagparameters. Die SD1 wird maßgeblich vom Vagustonus beeinflusst, auf die HR wirken Parasympathikus und Sympathikus, die SD2 gilt als Maß für die Gesamtaktivität aller Steuerungskomponenten.
3. Eine verringerte parasympathische Aktivität gilt bei Säugetieren als ein Hinweis auf Streß bzw. auf eine erhöhte Streßempfindlichkeit. Da der HRV-Parameter SD1 in hohem Maß mit der Höhe des Herzvagus tonus korreliert ist, kann die SD1 als quantifizierbarer Maßstab für die Belastungssituation eines Säugetieres angesehen werden.
4. Mit jenen HRV-Parametern, die maßgeblich vom Vagustonus beeinflusst werden (z.B. SD1), können - zumindest theoretisch (s. 3.) - Streß und Streßempfindlichkeit von Tieren besser als mit der HR abgebildet werden. Dieser Zusammenhang deutete sich hier auch praktisch in der gegenüber der HR etwas besseren 'relativen Effektstärke' der SD1 an (s. 2.). Andererseits ist die Analyse der HR deutlich weniger aufwendig, als die der HRV. Die HR ist daher ein guter Parameter, um schnell einen Überblick über generelle Tendenzen zu erhalten. Die entscheidenden Abschnitte einer Veränderung können dann mit HRV-Analysen genauer untersucht werden. Damit können sich HR und HRV in der angewandten Nutztierforschung sinnvoll ergänzen.
5. Unmittelbare, kurzfristige Veränderungen von Herzschlagparametern lassen anscheinend nur eingeschränkte Rückschlüsse auf die Art eines Stimulus zu. Während die hier gefundene Erhöhung der HR bzw. Verringerung der SD1 während der Grooming-Simulationen auf eine physiologische 'Anspannung' hindeuteten, sprach das Verhalten der Tiere eher für eine 'Entspannung'. Daher läßt sich die psycho-physische Reaktion der Schweine auf die Grooming-Simulationen am ehesten mit dem Begriff 'positive Anspannung' beschreiben. Kurzfristige Veränderungen der HR und HRV können als generelle Reaktion auf potentiell bedeutungsvolle Ereignisse angesehen werden, unabhängig davon, ob diese als positiv oder negativ empfunden werden. Daher sollten kurzfristige Änderungen der HR und HRV immer im Zusammenhang mit dem Verhalten und anderen physiologischen Parametern interpretiert werden.

6. Dagegen erlauben langfristige Veränderungen in den basalen (Ruhe-)Parameterwerten von HR und HRV offensichtlich eine Interpretation über die Art eines Stimulus: Die Belastung der Schweine durch die Gruppierung (*negativer Stimulus*) führte zu einer *Verringerung* in der basalen parasympathischen Aktivität der Tiere, welche sich insbesondere aus der Verringerung der SD1 im Wochenmedian ableiten läßt. Aufgrund des Verhaltens der Schweine während der Grooming-Simulationen können diese als *wiederholte positive Stimuli* angesehen werden, welche zu einer *Erhöhung* der basalen parasympathischen Aktivität führten.
7. Die Beachtung wesentlicher methodischer Voraussetzungen wird als Bedingung für den Nachweis der genannten Effekte (insbesondere der langfristigen Veränderungen) angesehen. In dieser Studie wurde versucht, die wesentlichen (nicht-experimentellen) Einflußfaktoren und Störgrößen auf die Parameter HR, SD1 und SD2 so weit wie möglich zu minimieren bzw. konstant zu halten. Im besonderen galt dies für: (1) die motorische Komponente des Verhaltens, (2) individuelle und reguläre, ontogenetische Einflüsse, (3) circadiane und ultradiane Rhythmen, (4) anthropogene Einflüsse, (5) psychogene Einflüsse durch die Meß- und Schutzgurte, (6) Meßartefakte, und (7) exogene Faktoren wie Temperatur, Licht, Emissionsbelastung, Geräuschkulisse, etc. Damit sollten die für die Untersuchung der langfristigen Effekte verwendeten Wochenmediane die basalen (Ruhe-)Werte der HR, SD1 und SD2 in der bestmöglichen Form abbilden.
8. Die Verringerung der basalen parasympathischen Aktivität (wg. Verringerung der SD1) nach der Gruppierung der Schweine im Haltungsexperiment deutet auf eine Belastungsreaktion hin, die über drei Wochen bestehen blieb. Aufgrund dieser lang anhaltenden Belastung sollten Neugruppierungen von Schweinen im Produktionsprozeß so weit wie möglich vermieden werden. Dies gilt besonders für Neugruppierungen kurz vor dem Schlachttermin, da eine erhöhte Streßempfindlichkeit bei den starken Belastungen der Schweine während des Transports und im Schlachthof von Nachteil sein kann (z.B. Verluste, PSE-Fleisch).
9. Ein Einfluß zusätzlicher Manipulationsobjekte (Kurzstroh in einer Raufe, Stein und Gummireifen) während der Gruppenhaltung auf die Belastungsreaktion (s. 8.) konnte nicht nachgewiesen werden. Möglicherweise war diese strukturelle Anreicherung der Haltungsumwelt ('environmental enrichment') nicht ausreichend, um die Effekte durch die Gruppierung meßbar zu beeinflussen. Vermutlich sind für eine wirkungsvolle Verbesserung der Haltungsumwelt von Schweinen biologisch adäquatere Beschäftigungsmöglichkeiten bzw. Haltungskomponenten erforderlich (z.B. Wühlbereiche mit Stroheinstreu oder Erde).
10. Beim Vergleich der Ergebnisse beider Experimente läßt sich für die Praxis folgender Schluß ziehen: Schweine sind an das Leben in sozialen Gruppen angepaßt, wofür auch die langfristig 'vagus-fördernde' Wirkung sozialen Groomings spricht. Da sich die basale parasympathische Aktivität der Schweine im Haltungsexperiment in der vierten Woche nach der Gruppierung wieder 'normalisierte', kann man schlußfolgern, daß nicht die Gruppenhaltung an sich, sondern die Gruppierung den eigentlichen Stressor darstellt. Deshalb sollten solche Haltungssysteme bevorzugt werden, welche die Zahl der Neugruppierungen von Schweinen minimieren.

7. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Eignung der Herzschlagvariabilität (HRV) und der Herzschlagfrequenz (HR) zur Dokumentation kurz- und langfristiger Einflüsse von zwei unterschiedlichen Änderungen in der sozialen Umwelt (Gruppierung und Grooming-Simulationen) von Hausschweinen untersucht, wobei insbesondere die folgenden Aspekte interessierten:

- Nach dem bisherigen Stand der Forschung gilt die HR als wenig geeignet, um langfristige Einflüsse der Haltungsumwelt auf (Nutz-)Tiere zu dokumentieren. Diese Ansicht wurde anhand der Experimente für die HRV und die HR überprüft.
- Der Herzvagus (Parasympathikus) gilt bei Säugetieren als Indikator für Stress und Stressempfindlichkeit. Dieser kann mit bestimmten Parametern der HRV genauer abgebildet werden als mit der HR. Es wurde geprüft, ob sich Reaktionen von Schweinen auf Veränderungen in ihrer sozialen Umwelt mit der HRV besser als mit der HR zeigen lassen.
- Objektive physiologische Parameter gelten als wesentliche Voraussetzung zur Beurteilung von haltungsbedingten Belastungen von Nutztieren. Es wurde untersucht, inwieweit Herzschlagparameter für die Interpretation über die Art einer Belastung (im Sinne eines ‘positiven’ oder ‘negativen’ Stimulus) geeignet sein können.

Mit einer quantitativen Lorenz-Plot Analyse wurden zwei HRV-Parameter berechnet: (1) die SD1, welche in Ruhe in hohem Maß mit dem Vagus korreliert ist und (2) die SD2, welche eher die Gesamtaktivität aller an der Steuerung des Herzschlags beteiligten Komponenten abbildet. Um motorische Einflüsse auf SD1, SD2 und HR zu minimieren wurden nur jene validen 5-min-Intervalle aus den nicht-invasiven telemetrischen Messungen aufeinanderfolgender Herzschlagintervalle analysiert, in denen die Schweine ruhig auf der Seite lagen.

Eine Gruppierung von Schweinen wird allgemein als belastend für die Tiere angesehen, da sie eine neue Gruppenstruktur etablieren müssen.

In einem Haltungsexperiment wurden vorher einzeln gehaltene Schweine in der 22. Lebenswoche (LW) in 4 Gruppen je 4 Tiere zusammengestellt (Versuchstiere), wobei 2 Gruppen zusätzliche Manipulationsobjekte zur Verfügung standen (Kurzstroh in einer Raufe, Gummireifen, Stein). Als Kontrolle dienten 8 Schweine, die weiterhin einzeln gehalten wurden (Kontrolltiere). Für den Untersuchungszeitraum von LW20 bis LW25 wurden die individuellen Mediane der HR, SD1 und SD2 aller validen 5-min-Intervalle jeder Woche berechnet. Diese Wochenmediane bildeten als basale Ruhewerte der Tiere die Grundlage für den Vergleich zwischen Versuchs- und Kontrolltieren.

Bei den Versuchstieren erhöhte sich die HR und verringerte sich die SD1 nach der Gruppierung in LW22 im Vergleich zur Vorwoche ($p < 0,05$). Von LW22 bis LW24 war bei den Versuchstieren die HR höher und die SD1 niedriger als bei den Kontrolltieren ($p < 0,05$). In LW25 wurden keine Unterschiede zwischen Versuchs- und Kontrolltieren gefunden. Ein Einfluß der Gruppierung auf die SD2 konnte nicht nachgewiesen werden. Die Manipulationsobjekte hatten keinen Einfluß auf die bei der HR und der SD1 gefundenen Gruppierungseffekte.

Da die SD1 ein quantifizierbarer Index für den Vagus ist, deuten die Ergebnisse auf eine langfristige Verringerung der basalen parasympathischen Aktivität der Schweine nach der

Gruppierung hin. Diese Reaktion spricht für eine lang anhaltende Belastung der Tiere, da ein niedriger Vagustonus bei Säugetieren als Indikator für Streß gilt. Diese langfristigen Gruppierungseffekte waren reversibel, weil die Parameterwerte der Versuchstiere in der vierten Woche nach der Gruppierung wieder dem Niveau der Kontrolltiere entsprachen. Die Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß eine Gruppierung für Hausschweine zwar eine relativ lang anhaltende Belastung darstellt, aber nicht die Gruppenhaltung an sich.

Grooming (soziale 'Fellpflege') ist ein typisches Verhalten von sozial lebenden Tieren. Schweine groomen sich untereinander mit der Rüsselscheibe/Schnauze ('Massieren', 'Knabbern') und das Verhalten des Akzeptors (z.B. auf die Seite legen, begleitet von einem niedrigen Muskeltonus, geschlossenen Augen und kurzen Grunzlauten) deutet auf einen entspannten Zustand hin.

In einem Groomingexperiment wurde bei 8 Schweinen in LW26 und LW27 regelmäßig (3 x 5 min pro Tier und Tag an 4 Tagen je Woche) durch einen Experimentator Grooming simuliert ('Massagen' im Kopf und Bauchbereich mit den Fingern). HR, SD1 und SD2 während der fünfminütigen Grooming-Simulationen wurden mit unbeeinflussten 5-min-Intervallen der experimentellen Vor- und Nachphase verglichen.

Während der Grooming-Simulation erhöhte sich die HR und verringerte sich die SD1 ($p < 0,05$); ein eindeutiger Effekt auf die SD2 wurde nicht gefunden. Vergleichbare Ergebnisse wurden bei einigen 'natürlichen' Groomingsituationen zwischen Schweinen gefunden (telemetrische Messungen aus der Gruppenhaltung, s.o.). Insbesondere die Veränderung der SD1 deutet auf eine verringerte parasympathische Aktivität beim Grooming-Akzeptor hin, was für einen 'angespannten' Zustand der Schweine spricht. Diese physiologische Reaktion steht scheinbar im Gegensatz zum Verhalten der Tiere, welches eher auf eine 'Entspannung' hindeutet (s.o.). Daher läßt sich die Reaktion der Schweine auf die Grooming-Simulationen am ehesten mit dem Begriff 'positive Anspannung' beschreiben.

Zur Untersuchung der langfristigen Effekte der regelmäßigen Grooming-Simulationen wurden die individuellen Wochenmediane der HR, SD1 und SD2 aus jenen validen 5-min- Intervallen berechnet, die nicht unmittelbar vom Experiment beeinflusst waren. In der zweiten Woche des Groomingexperiments (LW27) erhöhten sich im Wochenmedian beide HRV-Parameter (SD1 und SD2), während sich die HR verringerte ($p < 0,05$). Die Ergebnisse deuten auf eine ausgeprägte Erhöhung der basalen parasympathischen Aktivität aufgrund der regelmäßigen Grooming-Simulationen hin. Dies spricht dafür, daß Schweine vorzugsweise in Gruppen gehalten werden sollten, da Grooming offensichtlich das 'Wohlbefinden' von Schweinen fördert.

Schlußfolgerungen:

- Die Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß HR und HRV durchaus geeignet sein können, um langfristige Einflüsse der Haltungsumwelt (oder anderer Veränderungen der sozialen Umwelt) auf (Nutz-)Tiere zu dokumentieren. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die Verwendung von Medianwerten aus mehreren Messungen der HR bzw. HRV (z.B. alle validen 5-min-Intervalle einer Woche), die unter den gleichen Bedingungen erfolgten (gleiches Verhalten; z.B. 'ruhig auf der Seite liegen').

-
- In der Summe aller Ergebnisse, waren die gefundenen Effekte bei der SD1 etwas deutlicher als bei der HR, während Einflüsse auf die SD2 nur bei starken Änderungen der parasympathischen Aktivität nachgewiesen werden konnten. Daraus läßt sich folgende Reihenfolge der ‘Effektstärke’ ableiten: $SD1 > HR \ggg SD2$. Diese Reihenfolge hängt wahrscheinlich mit der Menge der internen Steuerungskomponenten zusammen, welche die einzelnen Parameter maßgeblich beeinflussen: Um so weniger Steuerungskomponenten beteiligt sind, desto größer ist die relative ‘Effektstärke’ des Herzschlagparameters. Die SD1 wird maßgeblich vom Vagustonus beeinflusst, auf die HR wirken Parasympathikus und Sympathikus, die SD2 gilt als Maß für die Gesamtaktivität aller Steuerungskomponenten.
 - Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Richtung von langfristigen Veränderungen der basalen parasympathischen Aktivität (welche sich insbesondere in Änderungen der SD1 zeigen) von der Art eines Stimulus abhängig ist: Ein ‘negativer’ Stimulus (Gruppierung) führt zu einer Verringerung der basalen parasympathischen Aktivität, wogegen ein ‘positiver’ Stimulus (regelmäßiges Grooming) zu einer Erhöhung führt. Dagegen deuten kurzfristige Änderungen der HR und HRV anscheinend eher auf eine allgemeine physiologische Aktivierung hin, die unabhängig von der Art des Stimulus ist. Daher sollten kurzfristige Änderungen der HR und HRV immer im Zusammenhang mit dem Verhalten und anderen physiologischen Parametern interpretiert werden.
 - Die HRV kann ein geeignetes Hilfsmittel zur Untersuchung verschiedener Aspekte in der angewandten Nutztierforschung sein. Dies gilt insbesondere für jene HRV-Parameter, die den Vagustonus abbilden (z.B. SD1). Mögliche Anwendungsbereiche könnten z.B. die Optimierung der Haltungbedingungen von Hausschweinen auf der Grundlage einer hohen basalen parasympathischen Aktivität der Tiere (als Indikator für eine geringe Belastung), die Zucht auf eine geringere Streßempfindlichkeit durch züchterische Auswahl von Schweinen mit einem hohen basalen Vagustonus oder die Verwendung von Schweinen als Modelliere in der humanmedizinischen Forschung sein.

8. Summary

Short and long term changes in heart rate variability and heart rate in response to changes in the social environment (grouping and grooming-simulation) of domestic pigs

In the present study, the usefulness of heart rate variability (HRV) and heart rate (HR) for documenting short and long term effects of two different changes in the social environment (grouping and grooming simulations) of pigs was examined relative to the following aspects:

- It is commonly accepted that HR gives little information about the long term effects of housing on animals. Therefore, the role of HR and HRV was reconsidered in the context of long term effects.
- Cardiac vagal tone is considered as an index of stress and stress vulnerability. Some parameters of HRV are better suited for the assessment of the vagal activity than HR. It was tested whether HRV better reflects the reaction of pigs to changes in the social environment than HR.
- Objective physiological parameters are relevant for the interpretation of stress in animals. The suitability of HR and HRV for the interpretation of the nature of a stimulus (positive or negative) was investigated in this study.

A quantitative Lorenz plot analysis was used to calculate two HRV-parameters: (1) the SD1, which correlates to vagal tone and (2) SD2, depending on overall activity of all components which control heartbeat. In order to minimise influence of motor activity on SD1, SD2 and HR, only those valid 5-minute-periods of non-invasive telemetric measurements of succeeding beat-to-beat intervals were taken into account, in which pigs remained in recumbency.

Grouping is known as a stressful event for pigs, because a new group hierarchy has to be established. In a housing experiment, sixteen single housed pigs were grouped into 4 groups of 4 pigs at the age of 22 wk (GROUP-pigs). In pens of 2 groups, objects for manipulation (straw in a rack, tyre, stone) were available. In weekly intervals from wk 20 to 25, individual medians of HR, SD1 and SD2 from all valid 5-minute-periods per week (i.e. for basic resting values) of GROUP-pigs were compared to those of eight pigs that remained in single housing (SINGLE-pigs, control). After grouping, HR increased and SD1 decreased compared to wk 21 in GROUP-pigs ($p < 0.05$). From wk 22 to 24, HR of GROUP-pigs was higher and SD1 was lower compared to SINGLE-pigs ($p < 0.05$). In wk 25, no differences were found between GROUP- and SINGLE-pigs. SD2 was not affected by grouping and objects for manipulation did not influence grouping effects on HR and SD1. The results indicate a grouping induced long term decrease in parasympathetic activity (i.e. SD1 is an index for vagal tone), which can be explained as a long lasting stress effect (i.e. a low vagal tone is an indication for stress in mammals). Since the parasympathetic activity returned to normal (control) conditions after three weeks, the long term effect of grouping was reversible. Therefore, grouping but not group-housing of pigs should be considered as the real stressor for pigs.

Grooming is a behaviour typically seen in many social living animals. Pigs are grooming each other with their snout (massaging and nibbling) and the behaviour of the recipient (e.g. moving into a recumbent position, accompanied by general muscle relaxation, closed eyes and short grunts) indicates a state of relaxation. In a grooming experiment, HR, SD1 and SD2 were measured in 8 single housed pigs during 5-minute-periods of grooming-simulation (massaging

the pigs along head and belly with fingers by the experimental handler) and compared with undisturbed periods immediately before and after the experiment (3 simulations per pig/day on 4 days per wk during wk 26 and 27). Experimental grooming increased HR while SD1 decreased ($p < 0.05$), but had no effect on SD2. Similar results were found in 'natural' grooming between pigs (some events during telemetric measurements from group-housed pigs). The physiological results are pointing to a state of tension (i.e. decreased parasympathetic activity), which appear contradictory to the behavioural reaction suggesting relaxation. However, this particular reaction to grooming can be interpreted as a response best described as 'positive strain'. Long-term effects of grooming were investigated by calculating the individual medians of HR, SD1 and SD2 from all valid 5-minute-periods per week. Contrary to the short-term effects of grooming, the periodical grooming-simulations caused an increase of both HRV-parameters (SD1 and SD2) and a decrease of HR in the second week (wk 27) of the experiment ($p < 0.05$). The results indicate a pronounced increase of parasympathetic activity as a long term effect of the grooming-simulations. This is an indication that group housing should be the preferred housing system for pigs, because grooming could contribute to the well-being of pigs.

Conclusions:

- HR and HRV can provide valid information about the long term effects of housing (or other changes in the social environment) on pigs, when using medians of HR and HRV-parameters from several measurements (e.g. all valid 5-minute-periods per week) under the same behavioural state (e.g. lying in recumbency).
- Summarising all results, changes in SD1 were more obvious than changes in HR, while effects on SD2 were only obvious when alterations in parasympathetic activity were strong. The following order of significance can be postulated: $SD1 > HR \ggg SD2$. This order might be determined by the magnitude of internal control components which mainly influence these parameters: SD1 is dominated by vagal tone, HR is normally controlled by parasympathetic and sympathetic activity and SD2 depends on overall activity of all components that control heartbeat.
- The results indicate, that the direction of long term changes in the parasympathetic activity, especially seen in the changes of the SD1, correspond to the nature of a stimulus: a negative stimulus (grouping) causes a decrease and a positive stimulus (regular grooming) induces an increase in parasympathetic activity. Short term changes in HRV and HR appear to indicate a more general physiological activation, regardless whether the stimulus is positive or negative. Therefore, short term changes in HRV and HR should be interpreted together with behaviour and other physiological factors.
- The application of HRV, especially those HRV-parameters which reflect the vagal tone like SD1, can be a sensitive tool to address problems in applied animal research. For example, by optimising housing conditions based on the information of a higher parasympathetic activity of pigs as an indicator of reduced stress, for rearing pigs with high parasympathetic activity which have a better stress resistance to management procedures or for studies where pigs are used as a model for research in human medicine.

9 Literatur

- Achenbach, T.M., Edelbrock, C., Howell, C.T. (1987): Empirically based assessment of the behavioral/emotional problems of 2- and 3- year-old children. *J. Abnorm. Child. Psychol.* 15 (4), S. 629-650.
- Akselrod, S. (1995): Components of heart rate variability: basic studies. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 147-163.
- Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F.A., Shannon, D.C., Bargert, C., Cohen, R.J. (1981): Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science* 213 (10), S. 220-222.
- Algers, B. und Jensen, P. (1985): Communication during suckling in the domestic pig. Effects of continuous noise. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 14, S. 49-61.
- Algers, B., Ekesbo, I., Strömberg, S. (1978): The impact of continuous noise on animal health. *Acta Vet. Scand. Suppl.* 67, S. 1-26.
- Algers, B., Madej, A., Rojanasthien, S., Uvnäs-Moberg, K. (1991): Quantitative relationships between suckling-induced teat stimulation and the release of prolactin, gastrin, somatostatin, insulin, glucagon and vasoactive intestinal polypeptide in sows. *Vet. Res. Comm.* 15, S. 395.
- Anderson, D.E. und Brady, J.V. (1972): Differential preparatory cardiovascular responses to aversive and appetitive behavioral conditioning. *Cond. Reflex* 7, S. 82-96.
- Andreassi, J.L. (1980): Heart activity and behavior. In: Andreassi, J.L. (Hrsg.): *Psychophysiology. Human behavior and physiological response*. New York Oxford: Oxford University Press, S. 227-261.
- Antoni, H. (1977): Funktion des Herzens. In: Schmidt, R.F. und Thews, G. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 19. Aufl., S. 346-385.
- Appleby, M.C. und Wood-Gush, D.G.M. (1988): Effect of earth as an additional stimulus on the behaviour of confined pigs. *Behav. Proc.* 17, S. 83-91.
- Art, T., Desmecht, D., Lekeux, P. (1990): Effect of show jumping on heart rate, blood lactate and other plasma biochemical values. *Equine. Vet. J. Suppl.* 9, S. 78-82.
- Art, T., Votion, D., Lekeux, P. (1995): Physiological measurements in horses after strenuous exercise in hot, humid conditions. *Equine. Vet. J. Suppl.* 20, S. 120-124.
- Asheim, A., Knudsen, O., Lindholm, A., Rülcker, C., Saltin, B. (1970): Heart rates and blood lactate concentrations of Standardbred horses during training and racing. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 157, S. 304-312.
- Aureli, F., Preston, S.D., Waal, F.B.d. (1999): Heart rate responses to social interactions in free-moving rhesus macaques (*Macaca mulatta*): a pilot study. *J. Comp. Physiol.* 113 (1), S. 59-65.
- Baldock, N.M. (1985): Heart rate and behaviour recorded in sheep during undisturbed conditions and various husbandry practices. [Thesis]. Department of Pure and Applied Zoology, University of Reading, UK.
- Baldock, N.M. und Silby, R.M. (1990): Effects of handling and transportation on the heart rate and behaviour of sheep. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 28, S. 15-39.

- Baldock, N.M., Silby, R.M., Penning, P.D. (1988): Behaviour and seasonal variation in heart rate in domestic sheep, *Ovis aries*. *Anim. Behav.* 36 (1), S. 35-43.
- Barrey, E., Galloux, P., Valette, J.P., Auvinet, B. (1993): Comparison of heart rate, blood lactate, and stride length and frequency during incremental exercise tests in overground vs. treadmill conditions. *The Equine Athlete* 6 (1), S. 14-17.
- Bartussek, H. (1997): Neue Tendenzen in der Nutztierhaltung und der Tiergerechtheitsindex. In: Sambraus, H.H. und Steiger, A. (Hrsg.): *Das Buch vom Tierschutz*. Stuttgart: Enke, S. 70-83.
- Bassan, L. und Ott, W. (1968): Radiotelemetrische Untersuchungen der Herzschlagfrequenz beim Sportpferd in Ruhe und in allen Gangarten (Schritt, Trab, Galopp). *Arch. Exp. Vet. Med.* 22, S. 57-75.
- Baust, W. (1974): Rhythms in heart rate and respiration during sleep. In: Umbach, W. und Koepchen, H.P. (Hrsg.): *Central rhythmic and regulation*. Stuttgart: Hippokrates Verlag, S. 322-323.
- Bayly, W.M., Gabel, A., Barr, S.A. (1983): Cardiovascular effects of submaximal aerobic training on a treadmill in Standardbred horses, using a standardized exercise test. *Am. J. Vet. Res.* 44 (4), S. 544-553.
- Beerda, B., Schilder, M.B.H., Hooff, J.A.R.A.M.v., Vries, H.W.d. (1998): Behavioural, salvia cortisol and heart rate responses to different types of stimuli in dogs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 58, S. 365-381.
- Bergmann, V. und Reetz, J. (1982): Zur Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems beim Schwein aus pathomorphologischer Sicht. *Tierzucht* 36, S. 282-283.
- Bigger, J.T., Fleiss, J.L., Steinman, R.C., Rolnitzky, L.M., Kleiger, R.E., Rottman, J.N. (1992): Correlations among time and frequency domain measures of heart period variability two weeks after acute myocardial infarction. *Am. J. Cardiol.* 69 (9), S. 891-898.
- Bloom, S.R., Edwards, A.V., Hardy, R.N., Malinowska, K., Silver, M. (1975): Cardiovascular and endocrine responses to feeding in the young calve. *J. Physiol.* 253, S. 135-155.
- Boccia, M., Reite, M., Laudenslager, M. (1989): On the physiology of grooming in a pigtail macaque. *Physiol. Behav.* 45, S. 667-670.
- Bonnet, M.H. und Arand, D.L. (1997): Heart rate variability: sleep stage, time of night, and arousal influences. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 102 (5), S. 390-396.
- Borell, E.v. (1995a): Tierhaltung und Tierschutz - Ansprüche des Nutztieres an Haltungsumwelt und Management -. *Kühn-Arch.* 89 (1), S. 103-114.
- Borell, E.v. (1995b): Neuroendocrine integration of stress and significance of stress for the performance of farm animals. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 44, S. 219-227.
- Borell, E.v. und Hurnik, J.F. (1991): Stereotypic behavior, adrenocortical function, and open field behavior of individually confined gestating sows. *Physiol. Behav.* 49 (4), S. 709-713.
- Borell, E.v. und Ladewig, J. (1989): Altered adrenocortical response to acute stressors or ACTH(1-24) in intensively housed pigs. *Domestic Animal Endocrinology* 6 (4), S. 299-309.
- Borell, E.v. und Ladewig, J. (1992): The relationship between behaviour and adrenocortical response pattern in domestic pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 34, S. 195-206.

- Brenig, B. und Brem, G. (1992): Molecular cloning and analysis of the porcine "halothane" gene. *Arch. Tierz. Dummerdorf* 35, S. 129-135.
- Broom, D.M. (1983): Stereotypies as animal welfare indicators. In: Smidt, D. (Hrsg.): *Indicators relevant to farm animal welfare*. The Hague, The Netherlands: Martinus Nijhoff, S. 81-87.
- Broom, D.M. (1991): Animal welfare: concepts and measurement. *J. Anim. Sci.* 69, S. 4167-4175.
- Bustamante, M., Jesse, G.W., Becker, B.A., Krause, G.F. (1996): Effects of Individual vs Group Penning on the Performance of Weanling Pigs. *J. Anim. Sci.* 74, S. 1457-1461.
- Cannon, W.B. (1929): *Bodily changes in pain, hunger, fear and rage; an account of recent researches into the function of emotional excitement*. (2. Aufl.) New York: Apleton.
- Cardinet, G.H., Fowler, M.E., Tyler, W.S. (1963): Heart rates and respiratory rates for evaluating performance in horses during endurance track ride competition. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 143 (12), S. 1303-1309.
- Catipovic-Veselica, K., Amidzic, V., Durijancek, J., Kozmar, D., Sram, M., Glavas, B., Catipovic, B. (1999): Association of heart rate and heart-rate variability with scores on the emotion profile index in patients with acute coronary heart disease. *Psychol. Rep.* 84 (2), S. 433-442.
- Causby, L.A. und Smith, E.N. (1981): Control of fear bradycardia in swamp rabbit, *Sylvilagus aquaticus*. *Comp. Biochem. Physiol.* 69, S. 367-370.
- Cerutti, S., Bianchi, A.M., Mainardi, L.T. (1995): Spectral analysis of the heart rate variability signal. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 63-74.
- Clabough, D.L. und Swanson, C.R. (1989): Heart rate spectral analysis of fasting-induced bradycardia of cattle. *Am. J. Physiol.* 257, S. 1303-1306.
- Clément, F. und Barrey, E. (1995a): Fluctuations de la fréquence cardiaque chez le cheval au repos: (1) investigation de la dynamique cardiaque par l'analyse spectrale. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie* 318 (8), S. 859-865.
- Clément, F. und Barrey, E. (1995b): Fluctuations de la fréquence cardiaque chez le cheval au repos: (2) facteurs de variation biologiques liés au profil comportemental. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie* 318 (8), S. 867-872.
- Cohen, H.L., Gootman, P.M., Hundley, B.W., Gondemi, G., Eberle, L.P. (1991): Power spectral analysis of the baroreflex in neonatal swine. *Brain Res.* 558 (1), S. 131-135.
- Copie, X., Le Heuzey, J.Y., Iliou, M.C., Khouri, R., Levergne, T., Pousset, F., Guize, L. (1996): Correlation between time-domain measures of heart rate variability and scatterplots in postinfarction patients. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 19 (3), S. 342-347.
- Cornelissen, G., Bakken, E., Delmore, P., Orth-Gomer, K., Akerstedt, T., Carandente, O., Carandente, F., Halberg, F. (1990): From various kinds of heart rate variability to chronocardiology. *Am. J. Cardiol.* 66 (10), S. 863-868.
- Coumel, P., Maison-Blanche, P., Catuli, D. (1995): Heart rate and heart rate variability. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart Rate Variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 207-221.

- Cowan, M.J., Pike, K., Burr, R.L. (1994): Effects of gender and age on HRV in healthy individuals and in persons after sudden cardiac arrest. *J. Electrocardiol. Suppl.* 27, S. 1-9.
- Curtis, S.E. und Stricklin, W.R. (1991): The importance of animal cognition in agricultural animal production systems: an overview. *J. Anim. Sci.* 69, S. 5001-5007.
- Dämmrich, K. (1987): Organ change and damage during stress-morphological diagnosis. In: Wiepkema, P.R. und Adrichem, P.W.M.v. (Hrsg.): *Biology of stress in farm animals: an integrated approach*. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- Dantzer, R. (1986): Behavioral, physiological and functional aspects of stereotyped behavior: a review and reinterpretation. *J. Anim. Sci.* 62, S. 1776-1786.
- Dantzer, R., Mormede, P., Henry, J.P. (1983): Physiological assessment of adaptation in farm animals. In: Baxter, S.H., Baxter, M.R., MacCormack, J.A.D. (Hrsg.): *Farm Animal Housing and Welfare*. The Hague: Martinus Nijhoff, S. 8-19.
- Davy, K.P., Miniclier, N.L., Taylor, J.A., Stevenson, E.T., Seals, D.R. (1996): Elevated heart rate variability in physically active postmenopausal women: a cardioprotective effect? *Am. J. Physiol.* 271, S. H455-H460.
- Dawkins, M.S. (1980): *Animal Suffering*. New York: Chapman and Hall.
- Diverio, S., Goddard, P.J., Gordon, I.J. (1996): Use of long-acting neuroleptics to reduce the stress response to management practices in red deer. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 49, S. 83-88.
- Doussard-Roosevelt, J.A., Porges, S.W., Scanlon, J.W., Alemi, B., Scanlon, K.B. (1997): Vagal regulation of heart rate in the prediction of developmental outcome for very low birth weight preterm infants. *Child Development* 68 (2), S. 173-186.
- Dressen, W., Grun, H., Hendrichs, H. (1990): Radio telemetry of heart rate in male Tammar wallabies (Marsupialia: Macropodae): Temporal variations and behavioural correlates. *Aust. J. Zool.* 38, S. 89-103.
- Dubreucq, C., Chatard, J.C., Couroucé, A., Auvinet, B. (1995): Reproducibility of a standardised exercise test for standardbred trotters under field conditions. *Equine. Vet. J. Suppl.* 18, S. 108-112.
- Dusek, J. (1967): Körpertemperatur, Puls- und Atemfrequenz bei jungen Kladruber-Pferden. *Wien. Tierärztl. Monatsschr.* 54, S. 308-314.
- Eckberg, D.L. (1983): Human sinus arrhythmia as an index of vagal cardiac outflow. *J. Appl. Physiol.* 54, S. 961-966.
- Eckberg, D.L. (1991): Human Respiratory-Cardiovascular Interactions in Health and Disease. In: Koepchen, H.P. und Huopaniemi, T. (Hrsg.): *Cardiorespiratory and Motor Coordination*. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag. S. 253-258.
- Ehrlein, H.J., Engelhardt, W.v., Hörnicke, H., Tolkmitt, G., Dusek, J. (1970): Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Herzschlagfrequenz und Leistung bei Pferden. *Zbl. Vet. Med. A* 17, S. 577-591.
- Ehrlein, H.J., Hörnicke, H., Engelhardt, W.v., Tolkmitt, G. (1973): Die Herzschlagfrequenz während standardisierter Belastung als Mass für die Leistungsfähigkeit von Pferden. *Zbl. Vet. Med. A* 20, S. 188-208.

- Eisermann, K. (1988): Seasonal and environmental influences upon the diurnal heart rate pattern in wild rabbits living under seminatural conditions. *Physiol. Behav.* 43, S. 559-565.
- Eisermann, K. (1992): Long-term heartrate responses to social stress in wild European rabbits: predominant effect of rank position. *Physiol. Behav.* 52 (1), S. 33-6.
- Eisermann, K., Meier, B., Khaschei, M., Holst, D.v. (1993): Ethophysiological responses to overwinter food shortage in wild European rabbits. *Physiol. Behav.* 54, S. 973-980.
- Engelhardt, W.v. (1966): Swine cardiovascular physiology - A review. In: Bustard, L.K., McClellan, R.O., Burns, M.P. (Hrsg.): *Swine in biomedical research*. Seattle: USAEC, S. 307-330.
- Engelhardt, W.v. (1977): Cardiovascular effects of exercise and training in horses. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.* 21, S. 173-205.
- Espmark, Y. und Langvatn, R. (1985): Development and habituation of cardiac and behavioural responses in young red deer calves (*Cervus elaphus*) exposed to alarm stimuli. *J. Mamm.* 66, S. 702-711.
- Evans, D.L. und Rose, R.J. (1986): Method of investigation of the accuracy of four digitally-displaying heart rate meters suitable for use in the exercising horse. *Equine. Vet. J.* 18 (2), S. 129-132.
- Evans, D.L., Harris, R.C., Snow, D.H. (1993): Correlation of racing performance with blood lactate and heart rate after exercise in thoroughbred horses. *Equine. Vet. J.* 25 (5), S. 441-445.
- Ewing, D.J., Nielson, J.M.M., Travis, P. (1984): New method for assessing cardiac parasympathetic activity using 24-hour electrocardiograms. *Br. Heart J.* 50, S. 396-402.
- Fallen, E.L. und Kamath, M.V. (1995): Circadian rhythms of heart rate variability. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 293-309.
- Fallen, E.L., Kamath, M.V., Ghista, D.N. (1988): Power spectrum of heart rate variability: A non-invasive test of integrated neurocardiac function, clinical and investigative medicine. *Clinical and Investigative Medicine* 11 (5), S. 331-340.
- Fang, H.K., Kraemer, R.L., Rypins, E.B., Law, W.R. (1996): Iced temperature injectate for thermodilution cardiac output determination causes minimal effects on cardiodynamics. *Crit. Care Med.* 24 (3), S. 495-500.
- Feddes, J.J.R. und Fraser, D. (1994): Non-nutritive chewing by pigs: Implications for tail-biting and behavioral enrichment. *Transactions of the ASAE* 37 (3), S. 947-950.
- Feh, C. und Mazières, J.d. (1993): Grooming at a preferred site reduces heart rate in horses. *Anim. Behav.* 46, S. 1191-1194.
- Finley, J.P., Nugent, S.T., Hellenbrand, W. (1987): Heart rate variability in children. Spectral analysis of developmental changes between 5 and 24 years. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 65, S. 2048-2052.
- Forde, R.M. und Marchant, J.N. (1999): Heart rate variability: a novel non-invasive means of assessing fear responses in animals? In: Bøe, K.E., Bakken, M., Braastad, B.O. (Hrsg.): *Proceedings of the 33rd International Congress of the International Society for Applied Ethology*. Lillehammer, Norway. NLH, Agricultural University of Norway. S. 121.

- Foreman, J.H., Bayly, W.M., Grant, B.D., Gollnick, P.D. (1990): Standardized exercise test and daily heart rate responses of thoroughbreds undergoing conventional race training and detraining. *Am. J. Vet. Res.* 51 (6), S. 914-920.
- Foreman, J.H., Grubb, T.L., Benson, G.J., Frey, L.P., Foglia, R.A., Griffin, R.L. (1995): Physiological effects of shortening steeplechase in a 3-day-event. *Equine. Vet. J. Suppl.* 20, S. 73-77.
- Fox, A.F. (1989): Psychophysiological correlates of emotional reactivity during the first year of life. *Developmental Psychology* 25 (3), S. 364-372.
- Frandsen, R.D. (1986): *Anatomy and Physiology of Farm Animals*. (4. Aufl.) Philadelphia: Lea & Febiger.
- Fraser, A.F. und Broom, D.M. (1990): *Farm animal behaviour and welfare*. (3. Aufl.) London: Ballière Tindall.
- Fraser, D., Phillips, P.A., Thompson, B.K., Tennessen, T. (1991): Effect of straw on the behaviour of growing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 30, S. 307-318.
- Friedman, B.H. und Thayer, J.F. (1998a): Anxiety and autonomic flexibility: a cardiovascular approach. *Biol. Psychol.* 47 (3), S. 243-263.
- Friedman, B.H. und Thayer, J.F. (1998b): Autonomic balance revisited: panic anxiety and heart rate variability. *J. Psychosom. Res.* 44 (1), S. 133-151.
- Friend, T.H., Knabe, D.A., Tanksley, T.D.J. (1983): Behavior and performance of pigs grouped by three different methods at weaning. *J. Anim. Sci.* 57, S. 1406
- Fritsch, J.M., Eckberg, D.L., Graves, L.D., Wallin, B.G. (1986): Arterial pressure ramps provoke linear increases of heart period in humans. *Am. J. Physiol.* 251, S. R1086-R1090.
- Fujii, J., Otsu, K., Zorzato, F., Leon, S.d., Khanna, V.K., Weiler, J.E., O'Brien, P.J., MacLennan, D.H. (1991): Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science* 253 (5018), S. 448-451.
- Furnival, C.M., Linden, R.J., Snow, H.M. (1973): Chronotropic and inotropic effects on the dog heart of stimulating the efferent cardiac sympathetic nerves. *J. Physiol.* 230, S. 137-153.
- Gabrielsen, G.W., Blix, A.S., Ursin, H. (1985): Orienting and freezing responses in incubating ptarmigan hens. *Physiol. Behav.* 34, S. 6.
- Gabrielsen, G.W., Kanwisher, J.W., Steen, J.B. (1977): "Emotional" bradycardia: a telemetry study on incubating willow grouse, *Lagopus lagopus*. *Acta Physiol. Scand.* 100, S. 255-257.
- Galland, B.C., Bolton, D.P., Taylor, B.J. (1993a): Apnea and rapid eye movement sleep excess in the piglet during recovery from hyperthermia. *Pediatr. Res.* 34 (4), S. 518-524.
- Galland, B.C., Peebles, C.M., Bolton, D.P., Taylor, B.J. (1993b): Sleep state organization in the developing piglet during exposure to different thermal stimuli. *Sleep* 16 (7), S. 610-619.
- Gattermann, R. und Weinandy, R. (1997): Time of day and stress response to different stressors in experimental animals. Part I: Golden hamster (*Mesocricetus auratus*). *J. Exp. Anim. Sci.* 38 (2), S. 66-76.
- Gehring, K. (1939): Untersuchungen über Kreislauf und Atmung im Hinblick auf die Leistungsprüfung des Pferdes. *Z. Tierzücht. Zücht. Biol.* 42, S. 317-428.

- Gerard, H., Sensky, P.L., Broom, D.M., Perremans, S., Geers, R. (1996): Influences of type of anaesthesia on cortisol, beta-endorphin and heart rate in pigs. *Vet. Res.* 27 (3), S. 219-226.
- Goleman, D. (1995): *Emotional intelligence: Why it can matter more than IQ.* New York: Bantam Books.
- Gonyou, H.W., Parfet, K.A., Anderson, D.B., Olsen, R.D. (1988): Effects of amperozide and azaperone on aggression and productivity of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 66 (11), S. 2856-2864.
- Gootman, P.M., Gandhi, M.R., Steele, A.M., Hundley, B.W., Cohen, H.L., Eberle, L.P., Sica, A.L. (1991): Respiratory modulation of sympathetic activity in neonatal swine. *Am. J. Physiol.* 261 (5 Pt 2), S. R1147-R1154.
- Goozen, S.H.v., Matthys, W., Cohen-Kettenis, P.T., Gispen-de Wied, C., Wiegant, V.M., Engeland, H.v. (1998): Salivary cortisol and cardiovascular activity during stress in oppositional-defiant disorder boys and normal controls. *Biol. Psychiatry* 43 (7), S. 531-539.
- Gottlieb-Vedi, M., Essén-Gustavsson, B., Lindholm, A. (1996): Cardiorespiratory and plasma lactate responses to exercise with low draught resistances in standardbred trotters. *J. Vet. Med. A* 43, S. 635-641.
- Greer, E.B. (1987): Lack of effect of regular movement and of mixing groups on the performance of growing pigs. *Aust. J. Exp. Agric.* 27, S. 217
- Gribble, N.A. und Broom, D.M. (1996): Time series analysis and model of heart-beat rate, oxygen consumption, and locomotor activity from the sand-crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus). *Biological Rhythm Research* 27 (2), S. 113-129.
- Gschwend, T. (1931): Das Herz des Wildschweins. *Anat. Anzeiger* 72, S. 49-89.
- Haggendal, J., Jonsson, L., Carlsten, J. (1990): The role of sympathetic activity in initiating malignant hyperthermia. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 34 (8), S. 677-682.
- Hainsworth, R. (1995): The Control and Physiological Importance of Heart Rate. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart Rate Variability.* Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 3-19.
- Hales, S. (1733): *Haemastaticks - Vol. II.* London: Innings and Manby.
- Hall, M.C., Steel, J.D., Stewart, G.A. (1976): Cardiac monitoring during exercise tests in the horse. 2. Heart rate responses to exercise. *Aust. Vet. J.* 52, S. 1-5.
- Hamlin, R.L., Klepinger, W.L., Gilpin, K.W., Smith, C.R. (1972): Autonomic control of heart rate in the horse. *Am. J. Physiol.* 222 (4), S. 976-978.
- Hansen, S., Schweimler, C. und Borell, E.v. (1997): Comparison of cardiological and behavioural effects of massaging in domestic pigs. In: Taborsky, M. und Taborsky, B. (Hrsg.): *Advances in Ethology* 32 (Suppl. to Ethology), Contributions to the XXV International Ethological Conference, Vienna, Austria. Berlin, Wien: Blackwell Wissenschafts-Verlag. S. 297.
- Hansen, S. und Borell, E.v. (1998): Impact of grouping on sympatho-vagal balance as measured by heart rate variability. In: Veissier, I. und Boissy, A. (Hrsg.): *Proceedings of the 32nd Congress of the International Society for Applied Ethology.* Clermont-Ferrand, France. Chaumeil Repro. S. 97.

- Harbuz, M.S. und Lightman, S.L. (1992): Stress and the hypothalamo-pituitary-adrenal axis: acute, chronic and immunological activation. *J. Endocrin.* 134, S. 327-339.
- Haresign, W., Williams, R.J., Khalid, M., Rodway, R. (1995): Heart rate responses and plasma cortisol and Beta-endorphin concentrations in ewes subjected to laparoscopy and its associated handling procedures. *Anim. Sci.* 61, S. 77-83.
- Harlow, H.J., Thorne, E.T., Williams, E.S., Belden, E.L., Gern, W.A. (1987): Adrenal responsiveness in domestic sheep (*Ovis aries*) to acute and chronic stressors as predicted by remote monitoring of cardiac frequency. *Can. J. Zool.* 65, S. 2021-2027.
- Haroutunian, V. und Campbell, B.A. (1981): Development and habituation of the heart rate orienting response to auditory and visual stimuli in the rat. *J. Comp. Physiol. Psychol.* 95, S. 166-174.
- Harper, R.M., Walter, D.O., Leake, B., Hoffman, H.J., Sieck, G.C., Serman, M.B., Hoppenbrouwers, T., Hodgman, J. (1978): Development of sinus arrhythmia during sleeping and waking states in normal infants. *Sleep* 1, S. 33-48.
- Harri, M., Kohonen, T., Mononen, J. (1994): Heart rate of blue fox (*Alopex lagopus*) in normal and simulated situations of farm life. In: Proceedings of the 28th International Congress of the International Society for Applied Ethology, Research Centre Foulum, Denmark. S. 36
- Harri, M., Kohonen, T., Mononen, J. (1995): Heart rate of farmbred blue foxes in normal and simulated situations. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 44, S. 262.
- Hartung, J., Floss, M., Marahrens, M., Nowak, B., Feldhusen, F. (1997): Belastungsreaktionen von Schlachtschweinen in zwei unterschiedlichen Zutriebssystemen zur Elektrobetäubung. *Dtsch. tierärztl. Wschr.* 104 (2), S. 66-68.
- Hausmann, W.O. (1934): Das Elektrokardiogramm des Hausschweines. [Dissertation]. München.
- Havlik, R.J., Garrison, R.J., Fabsitz, R., Feinleib, M. (1980): Variability of heart rate. *J. Electrocardiol.* 13 (1), S. 45-48.
- Hedman, A.E., Tahvanainen, K.U., Hartikainen, J.E., Hakumaki, M.O. (1995): Effect of sympathetic modulation and sympatho-vagal interaction on heart rate variability in anesthetized dogs. *Acta Physiol. Scand.* 155 (2), S. 205-214.
- Hirsch, J.A. und Bishop, B. (1981): Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *Am. J. Physiol.* 241, S. H620-H629.
- Hirsch, M., Karin, J., Akselrod, S. (1995): Heart rate variability in the fetus. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): Heart rate variability. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 517-531.
- Hnatkova, K., Copie, X., Staunton, A., Malik, M. (1995): Numeric processing of Lorenz plots of R-R intervals from long-term ECGs. Comparison with time-domain measures of heart rate variability for risk stratification after myocardial infarction. *J. Electrocardiol. Suppl.* 28, S. 74-80.
- Holst, D.v. (1986): Vegetative and somatic components of tree shrews' behavior. *J. Auton. Nerv. Syst. Suppl.*, S. 657-670.
- Holst, D.v. und Scherer, K.R. (1988): Stress. In: Immelmann, K., Scherer, K.R., Vogel, C., Schmoock, P. (Hrsg.): Psychobiologie - Grundlagen des Verhaltens. Weinheim, München: Psychologie Verlags Union, S. 289-327.

- Hopster, H. und Blokhuis, H.J. (1994): Validation of a heart rate monitor for measuring a stress response in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 74 (3), S. 465-474.
- Hopster, H., O'Connell, J.M., Blokhuis, H.J. (1995): Acute effects of cow-calf separation on heart rate, plasma cortisol and behaviour in multiparous dairy cows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 44, S. 1-8.
- Hopster, H., Werf, J.T.N.v., Blokhuis, H.J. (1998): Side preference of dairy cows in the milking parlour and its effects on behaviour and heart rate during milking. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 55, S. 213-229.
- Hörning, B. (1992): *Artgemässe Schweinehaltung: Ein Leitfaden in der Praxis*. Karlsruhe: Verlag Müller.
- Horrell, I. und Ness, P.A. (1995): Enrichment satisfying specific behavioural needs in early-weaned pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 44, S. 264.
- Hrushesky, W.J. und Fader, D. (1984): The respiratory sinus arrhythmia: a measure of cardiac age. *Science* 224, S. 1001-1004.
- Huikuri, H.V., Kessler, K.M., Terracall, E., Castallanos, A., Linnaluoto, M.K., Myerburg, R.J. (1990): Reproducibility and circadian rhythm of heart rate variability in healthy subjects. *Am. J. Cardiol.* 65, S. 391-393.
- Huikuri, H.V., Linnaluoto, M.K., Seppänen, T., Airaksinen, K.E.J., Kessler, K.M., Takkunen, J.T., Myerburg, R.J. (1992): Circadian rhythm of heart rate variability in survivors of cardiac arrest. *Am. J. Cardiol.* 70, S. 610-615.
- Huikuri, H.V., Seppänen, T., Koistinen, M.J., Airaksinen, K.E.J., Ikäheimo, M.J., Castallanos, A., Myerburg, R.J. (1996): Abnormalities in beat-to-beat dynamics of heart rate before the spontaneous onset of life-threatening ventricular tachyarrhythmias in patients with prior myocardial infarction. *Circulation* 93, S. 1836-1844.
- Ibarra-Polo, A.A., Guiloff, E., Gomez-Rogers, C. (1972): Fetal heart rate throughout pregnancy. *J. Obstet. Gynecol.* 113, S. 814-818.
- Immelmann, K., Pröve, E., Sossinka, R. (1996): *Einführung in die Verhaltensforschung*. (4. Aufl.) Berlin, Wien: Blackwell Wissenschafts-Verlag.
- Ishii, K., Kuwahara, M., Tsubone, H., Sugano, S. (1996): The telemetric monitoring of heart rate, locomotor activity, and body temperature in mice and voles (*Microtus arvalis*) during ambient temperature changes. *Lab. Anim.* 30 (1), S. 7-12.
- Jacobsen, J., Hansen, O.B., Sztuk, F., Warberg, J., Knigge, U., Secher, N.H. (1993): Enhanced heart rate response to haemorrhage by ileus in the pig. *Acta Physiol. Scand.* 149 (3), S. 293-301.
- Jacobson, L.H. und Cook, C.J. (1998): Partitioning psychological and physical sources of transport-related stress in young cattle. *The Veterinary Journal* 155, S. 205-208.
- Jänig, W. (1977): Das vegetative Nervensystem. In: Schmidt, R.F. und Thews, G. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 19. Aufl., S. 114-145.
- Jensen, M.B., Vestergaard, K.S., Krohn, C.C., Munksgaard, L. (1997): Effect of single versus group housing and space allowance on responses of calves during open-field tests. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 54, S. 109-121.
- Jensen, P. (1982): An analysis of agonistic interaction patterns in group-housed dry sows - Aggression regulation through an "avoidance order". *Appl. Anim. Ethol.* 9, S. 47.

- Jeziarski, T., Jaworski, Z., Górecka, A. (1999): Effects of handling on behaviour and heart rate in Konik horses: comparison of stable and forest reared youngstock. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 62, S. 1-11.
- Johnson, R.W., Borell, E.v., Anderson, L.L., Kojic, L.D., Cunnick, J.E. (1994): Intracerebroventricular injection of corticotropin-releasing hormone in the pig: acute effects on behavior, adrenocorticotropin secretion, and immune suppression. *Endocrinology* 135 (2), S. 642-8.
- Johnson, S.F. und Gessaman, J.A. (1973): An evaluation of heart rate as an indirect monitor of free-living energy metabolism. In: Gessaman, J.A. (Hrsg.): *Ecological Energetics of Homeotherms*. Logan: Utah State University Press, S. 44-54.
- Jokkel, G., Bonyhay, I., Kollai, M. (1995): Heart rate variability after complete autonomic blockade in man. *J. Auton. Nerv. Syst.* 51 (1), S. 85-89.
- Jong, I.C.d., Ekkel, E.D., Burgwal, J.A.v., Lambooi, E., Korte, S.M., Ruis, M.A., Koolhaas, J.M., Blokhuis, H.J. (1998a): Effects of strawbedding on physiological responses to stressors and behavior in growing pigs. *Physiol. Behav.* 64 (3), S. 303-310.
- Jong, I.C.d., Sgoifo, A.E., Lambooi, E., Korte, S.M., Koolhaas, J.M., Blokhuis, H.J. (1998b): Effects of social stress on heart rate and heart rate variability in growing pigs. In: Veissier, I. und Boissy, A. (Hrsg.): *Proceedings of the 32nd Congress of the International Society for Applied Ethology*. Clermont-Ferrand, France. Chaumeil Repro. S. 144.
- Jose, A.D. und Collison, D. (1970): The normal range and determinants of the intrinsic heart rate in man. *Cardiovasc. Res.* 4, S. 160-167.
- Jouvet, M. (1967): The states of sleep. *Sci. Am.* 216 (2), S. 62-68.
- Kamath, M.V. und Fallen, E.L. (1993): Power spectral analysis of HRV: a noninvasive signature of cardiac autonomic functions. *Crit. Rev. Biomed. Eng.* 21 (3), S. 245-311.
- Kamath, M.V. und Fallen, E.L. (1995): Correction of the heart rate variability signal for ectopics and missing beats. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 75-85.
- Kamen, P.W. und Tonkin, A.M. (1995): Application of the Poincaré plot to heart rate variability: a new measure of functional status in heart failure. *Aust. NZ. J. Med.* 25, S. 18-26.
- Kamen, P.W., Krum, H., Tonkin, A.M. (1996): Poincaré plot of heart rate variability allows quantitative display of parasympathetic nervous activity in humans. *Clin. Sci. Colch.* 91 (2), S. 201-208.
- Katona, P.G. und Jih, F. (1975): Respiratory sinus arrhythmia: noninvasive measure of parasympathetic cardiac control. *J. Appl. Physiol.* 39, S. 801-805.
- Kautzner, J. und Hnatkova, K. (1995): Correspondence of different methods for heart rate variability. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 119-126.
- Kennedy, M.J., Marchant, J.N., Broom, D.M. (1995): A behavioural and physiological study of the responses of inexperienced gilts to electric fencing. In: Rutter, S.M., Rushen, J., Randle, H.D., Eddison, J.C. (Hrsg.): *Proceedings of the 29th International Congress of the International Society for Applied Ethology*. Exeter, UK. Universities Federation for Animal Welfare. S. 31-32.

- Kindlon, D.J., Tremblay, R.E., Mezzacappa, E., Earls, F., Laurent, D., Schaal, B. (1995): Longitudinal Patterns of Heart Rate and fighting behavior in 9- through 12-Year-Old Boys. *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry* 34 (3), S. 371-377.
- King, C.M., Rose, R.J., Evans, D.L. (1995): Acclimatisation to treadmill exercise. *Equine. Vet. J. Suppl.* 18, S. 453-456.
- Kinnunen, H. und Heikkilä, I. (1998): The timing accuracy of the Polar Vantage NV heart rate monitor. *J. Sports Sci.* 16, S. S107
- Kleiger, R.E., Bigger, J.T., Bosner, M.S., Chung, M.K., Cook, J.R., Rolnitzky, L.M., Steinman, R., Fleiss, J.L. (1991): Stability over time of variables measuring heart rate variability in normal subjects. *Am. J. Cardiol.* 68 (6), S. 626-630.
- Kleiger, R.E., Stein, P.K., Bosner, M.S., Rottman, J.N. (1995): Time-domain measurements of heart rate variability. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 33-45.
- Koh, J., Brown, T.E., Beightol, L.A., Ha, C.Y., Eckberg, D.L. (1994): Human autonomic rhythms: vagal cardiac mechanisms in tetraplegic subjects. *J. Physiol.* 474, S. 483-495.
- Kohonen, T., Mononen, J., Harri, M. (1994): Heart rate of farmed blue fox in different behavioural states. *Suomen Eläinlääkärilehti* 100 (2), S. 129.
- Korkushko, O.V., Shatilo, V.B., Kaukenas, J.K. (1991): Changes in heart rhythm power spectrum during human aging. *Aging* 3, S. 177-179.
- Korthals, R.L., Eigenberg, R.A., Hahn, G.L., Nienhaber, J.A. (1995): Measurements and spectral analysis of tympanic temperature regulation in swine. *Transactions of the ASAE* 38 (3), S. 905-909.
- Kostarczyk, E. und Fonberg, E. (1982): Heart rate mechanisms in instrumental conditioning reinforced by petting in dogs. *Physiol. Behav.* 28 (1), S. 27-30.
- Köster, A. (1996): Reproduzierbarkeit von in Belastungstests ermittelten Leistungskennwerten (V2, V3, V4, V12 und V150, V180, V200) und deren Beeinflussbarkeit durch die Stufendauer bzw. Streckenlänge bei Pferden auf dem Laufband. [Dissertation]. Justus-Liebig-Universität, Gießen.
- Kotrbaček, V. (1991): Sleep and activity of piglets weaned into cages. *Acta Vet. Hung.* 39 (3-4), S. 115-120.
- Kotrbaček, V., Schweigel, M., Honig, Z. (1990): The effect of short-term fasting on sleep in pigs. *Vet. Med. (Praha)* 35 (9), S. 547-552.
- Kratzer, D.D., Stahly, T.S., Cromwell, G.L., McLemore, C. (1977): Effects of routine mixing on growing pigs. *J. Anim. Sci.* 45 (Suppl. 1), S. 3.
- Krzywanek, H., Wittke, G., Bayer, A., Borman, P. (1970): The heart rates of Thoroughbred horses during a race. *Equine. Vet. J.* 2, S. 115-117.
- Kuwahara, M., Hashimoto, S., Ishii, K., Yagi, Y., Hada, T., Hiraga, A., Kai, M., Kubo, K., Oki, H., Tsubone, H., Sugano, S. (1996): Assessment of autonomic nervous function by power spectral analysis of heart rate variability in the horse. *J. Auton. Nerv. Syst.* 60 (1-2), S. 43-48.
- Kuwahara, M., Suzuki, A., Tsutsumi, H., Tanigawa, M., Tsubone, H., Sugano, S. (1999): Power spectral analysis of heart rate variability for assessment of diurnal variation of autonomic nervous activity in miniature swine. *Lab. Anim. Sci.* 49 (2), S. 202-208.

- Ladewig, J. (1994): Stress. In: Döcke, F. (Hrsg.): Veterinärmedizinische Endokrinologie. Jena: Gustav Fischer Verlag,
- Lamprecht, J. (1992): Biologische Forschung: von der Planung bis zur Publikation. Berlin; Hamburg: Parey.
- Largo, R.H. (1998): Babyjahre - Die frühkindliche Entwicklung aus biologischer Sicht. (7. Aufl.) München: Piper Verlag GmbH.
- Laukkanen, R.M.T. und Virtanen, P.K. (1998): Heart rate monitors: State of the art. J. Sports Sci. 16, S. S3-S7.
- Laurig, W. und Philipp, U. (1970): Veränderungen der Pulsfrequenzarrhythmie in Abhängigkeit von der Arbeitsschwere. Arbeitsmedizin Sozialmedizin Arbeitshygiene (ASA) 7, S. 184-188.
- Lehr, E. und Werner, G. (1974): Changes of heart rhythm controlled by the central nervous system caused by neurodrugs. In: Umbach, W. und Koepchen, H.P. (Hrsg.): Central rhythmic and regulation. Stuttgart: Hippokrates Verlag, S. 313-317.
- Lekeux, P., Henroteaux, M., Bienfet, V. (1982): Comparaison du type et de la fréquence relative des principales arythmies observées chez les chevaux en fonction de leurs performances en course: une étude radiotélémetrique. Ann. Méd. Vét. 126, S. 205-208.
- Lengerken, G.v., Wicke, M., Maak, S. (1997): Stressempfindlichkeit und Fleischqualität - Stand und Perspektiven in Praxis und Forschung. Arch. Tierz. Dummerdorf 40 (Sonderheft), S. 163-171.
- Levy, M.N. (1990): Autonomic interactions in cardiac control. Ann. NY Acad. Sci. 601, S. 209-221.
- Levy, M.N. und Martin, P.J. (1979): Neural control of the heart. In: Berne, R.M. (Hrsg.): Handbook of Physiology. Bethesda, Md: American Physiological Society, S. 581-620.
- Line, S.W., Morgan, K.N., Markowitz, H., Strong, S. (1989): Influence of cage size on heart rate and behavior in rhesus monkeys. Am. J. Vet. Res. 50 (9), S. 1523-1526.
- Little, C.J. und Julu, P.O. (1995): Investigation of heart rate variability in a dog with upper respiratory tract obstruction. J. Small Anim. Pract. 36 (11), S. 502-506.
- Lückmann, J. (1958): Die Herzfrequenz des Schweines. [Dissertation]. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Luescher, U.A., Friendship, R.M., McKeown, D.B. (1990): Evaluation of methods to reduce fighting among regrouped gilts. Can. J. Anim. Sci. 70, S. 363.
- Lyons, D.M. und Price, E.O. (1987): Relationship between heart rates and behavior of goats in encounters with people. Appl. Anim. Behav. Sci. 18, S. 363-369.
- MacArthur, R.A., Johnston, R.H., Geist, V. (1979): Factors influencing heart rate in free-ranging bighorn sheep: a physiological approach to the study of wildlife harassment. Can. J. Zool. 57, S. 2010-2021.
- MacLennan, D.H. (1992): The genetic basis of malignant hyperthermia. Trends Pharmacol. Sci. 13 (8): 330-334.
- MacLennan, D.H. und Phillips, M.S. (1992): Malignant hyperthermia. Science 256 (5058), S. 789-794.

- MacLennan, D.H., Otsu, K., Fujii, J., Zorzato, F., Phillips, M.S., O'Brien, P.J., Archibald, A.L., Britt, B.A., Gillard, E.F., Worton, R.G. (1992): The role of the skeletal muscle ryanodine receptor gene in malignant hyperthermia. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 46, S. 189-201.
- Mäkikallio, T.H., Seppänen, T., Airaksinen, K.E.J., Koistinen, M.J., Tulppo, M.P., Peng, C.-K., Goldberger, A.L., Huikuri, H.V. (1997): Dynamic analysis of heart rate may predict subsequent ventricular tachycardia after myocardial infarction. *Am. J. Cardiol.* 80, S. 779-783.
- Malik, M. (1995a): Effect of electrocardiogram recognition artifact on time-domain measurement of heart rate variability. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 99-118.
- Malik, M. (1995b): Geometrical methods for heart rate variability assessment. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 47-61.
- Malik, M. und Camm, A.J. (1990): Heart rate variability. *Clin. Cardiol.* 13 (8), S. 570-576.
- Malik, M. und Camm, A.J. (1995): Preface. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart Rate Variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. ix-x.
- Malliani, A. (1995): Association of heart rate variability components with physiological regulatory mechanisms. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability*. Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 173-188.
- Malliani, A., Pagani, M., Lombardi, F., Cerutti, S. (1991): Cardiovascular neural regulation explored in frequency domain. *Circulation* 84 (2), S. 482-492.
- Malpas, S.C. und Purdie, G.L. (1990): Circadian variation of heart rate variability. *Cardiovasc. Res.* 24, S. 210-213.
- Manteca, X. und Deag, J.M. (1993): Use of physiological measures to assess individual differences in reactivity. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 37, S. 265-270.
- Marchant, J.N. und Broom, D.M. (1995): Basal heart rate of group-housed sows in relation to stage of gestation. In: Rutter, S.M., Rushen, J., Randle, H.D., Eddison, J.C. (Hrsg.): *Proceedings of the 29th International Congress of the International Society for Applied Ethology*. Potters Bar, UK. UFAW (Universities Federation for Animal Welfare). S. 77-78.
- Marchant, J.N. und Rudd, A.R. (1993): Differences in heart rate response at feeding between stall-housed and group-housed sows. *Anim. Prod.* 56, S. 423
- Marchant, J.N., Mendl, M.T., Rudd, A.R., Broom, D.M. (1995): The effect of agonistic interactions on the heart rate of group housed sows. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (46), S. 49-56.
- Marchant, J.N., Rudd, A.R., Broom, D.M. (1997): The effects of housing on heart rate of gestating sows during specific behaviours. *Appl. Anim. Behav. Sci.* (55), S. 67-78.
- Marous, J.R. und Bonnet, M.H. (1997): Spectral analysis of the QRS complex during sleep: a comparison with heart rate variability analysis. *Sleep Res.* 26, S. 83
- Marsland, W.P. (1968): Heart rate response to submaximal exercise in the standardbred horse. *J. Appl. Physiol.* 24 (1), S. 98-101.
- Martin, P. und Kraemer, H.C. (1987): Individual differences in behaviour and their statistical consequences. *Anim. Behav.* 35, S. 1366-1375.

- Maslobojev, A.J. (1965): Einige elektrokardiographische Ergebnisse von Traber-Pferden während des Trainings. *Fiziol. Osnovy Elektrokard. Zivotnysch.*, S. 46-50.
- Mason, J.W. (1971): A re-evaluation of the concept of "non-specificity" in stress theory. *J. Psychiat. Res.* 8, S. 323-333.
- Matsui, K. und Sugano, S. (1987): Species differences in the changes in heart rate and T-wave amplitude after autonomic blockade in Thoroughbred horses, ponies, cows, pigs, goats and chickens. *Nippon Juigaku Zasshi* 49 (4), S. 637-644.
- Matsui, K. und Sugano, S. (1989): Relation of intrinsic heart rate and autonomic nervous tone to resting heart rate in the young and the adult of various domestic animals. *Nippon Juigaku Zasshi* 51 (1), S. 29-34.
- Matsukawa, K. und Ninomiya, I. (1987): Changes in renal sympathetic nerve activity, heart rate and arterial blood pressure associated with eating in cats. *J. Physiol.* 390, S. 229-242.
- Matthews, N.S., Taylor, T.S., Potter, G.D. (1998): Physiologic responses during an exhaustive driving test in donkeys: effect of conditioning. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 59, S. 31-38.
- Mayes, H.F. and Jesse, G.W. (1980): Heart rate data for feeder pigs. Technical Paper No. 80-4023. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, USA.
- McCann, J.S., Heird, J.C., Bell, R.W., Lutherer, L.O. (1988): Normal and more highly reactive horses. I. Heart rate, respiration rate and behavioural observations. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 19, S. 201-214.
- McCort, W.D. und Graves, H.B. (1982): Social dominance relationships and spacing behavior of swine. *Behav. Processes* 7, S. 169.
- McCraty, R., Atkinson, M., Tiller, W.A., Rein, G., Watkins, A.D. (1995): The effects of emotions on short-term power spectrum analysis of heart rate variability. *Am. J. Cardiol.* 76 (14), S. 1089-1093.
- McCraty, R., Tiller, W.A., Atkinson, M. (1996): Head-Heart Entrainment: A Preliminary Survey. Key West 1996 Brain Mind Applied Neurophysiology EEG Neurofeedback Meeting. S. 1-9.
- McGlone, J.J. und Curtis, S.E. (1985): Behavior and performance of weanling pigs in pens equipped with hide areas. *J. Anim. Sci.* 60, S. 20.
- McGlone, J.J., Salak, J.L., Lumpkin, E.A., Nicholson, R.I., Gibson, M., Norman, R.L. (1993): Shipping stress and social status effects on pig performance, plasma cortisol, natural killer cell activity and leukocyte numbers. *J. Anim. Sci.* 71, S. 888.
- Meese, G.B. und Ewbank, R. (1973): The establishment and nature of the dominance hierarchy in the domestic pig. *Anim. Behav.* 21, S. 326.
- Metsälä, T., Grönlund, J., Siimes, A., Välimäki, I. (1991): Respiratory Heart Rate Variability in Fetal and Neonatal Lambs. In: Koepchen, H.P. und Huopaniemi, T. (Hrsg.): *Cardiorespiratory and Motor Coordination*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. S. 259-264.
- Meynhardt, H. (1990): *Schwarzwild-Report: Mein Leben unter Wildschweinen*. (8. Aufl.). Leipzig, Radebeul: Neumann Verlag.

- Mezzacappa, E., Tremblay, R.E., Kindlon, D., Saul, J.P., Arseneault, L., Pihl, R.O., Earls, F. (1996): Relationship of Aggression and Anxiety to Autonomic Regulation of Heart Rate Variability in Adolescent Males. *Annals of the New York Academy of Sciences* 794, S. 376-379.
- Mezzacappa, E., Tremblay, R.E., Kindlon, D., Saul, J.P., Arseneault, L., Seguin, J., Pihl, R.O., Earls, F. (1997): Anxiety, Antisocial Behavior, and Heart Rate Regulation in Adolescent Males. *J. Child Psychol. Psychiat.* 38 (4), S. 457-469.
- Milne, D.W., Gabel, A.A., Muir, W.W., Skarda, R.T. (1977): Effects of training on heart rate, cardiac output, and lactic acid in standardbred horses, using a standardized exercise test. *J. Equine Med. Surg.* 1, S. 131-135.
- Moen, A.N. (1978): Seasonal changes in heart rates, activity, metabolism, and foraging intake of white-tailed deer. *J. Wildl. Mgmt.* 42, S. 715-738.
- Moen, A.N., Dellaferra, M.A., Hiller, A.L., Buxton, B.A. (1978): Heart rates of white-tailed deer fawns in response to recorded wolf howls. *Can. J. Zool.* 56, S. 1207-1210.
- Molgaard, H. (1991): Evaluation of the Reynolds Pathfinder II system for 24th heart rate variability analysis. *Eur. Heart J.* 12, S. 1153-1162.
- Moody, W.J., Fenwick, D.C., Blackshaw, J.K. (1996): Pitfalls of studies designed to test the effect pets have on the cardiovascular parameters of their owners in the home situation: a pilot study. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 47, S. 127-136.
- Moore, E.A., Broom, D.M., Simmins, P.H. (1994): Environmental enrichment in flatdeck accommodation for exploratory behaviour in early-weaned piglets. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 41, S. 277-278.
- Mörrike, K.D. (1989): *Biologie des Menschen / Mörrike; Betz; Mergenthaler.* (12. Aufl.) Heidelberg, Wiesbaden: Quelle & Meyer.
- Moss, A.J. (1995): Foreword. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart Rate Variability.* Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. iii-iv.
- Mueller, H. und Parker, P. (1980): Naive ducklings show different cardiac response to hawk than goose models. *Behav.* 74, S. 101-113.
- Müller, C., Ladewig, J., Thielscher, H.H., Smidt, D. (1989): Behaviour and heart rate of heifers housed in tether stanchions without straw. *Physiol. Behav.* 46 (4), S. 751-754.
- Neuenschwander, S., Rettenberger, G., Meijerink, E., Jorg, H., Stranzinger, G. (1996): Partial characterization of porcine obesity gene (OBS) and its localisation to chromosome 18 by somatic cell hybrids. *Anim. Genet.* 27, S. 275-278.
- Newberry, R.C. (1995): Environmental enrichment: Increasing the biological relevance of captive environments. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 44, S. 229-243.
- Nijssen, A., Groiset, G., Diamant, M., Broekhoven, M.H., Wied, D.d., Wiegant, V.M. (1998): Vagal activation in novelty-induced tachycardia during the light phase in the rat. *Physiol. Behav.* 63 (2), S. 233-239.
- O'Brien, I.A.D., O'Hare, P., Corral, R.J.M. (1985): Heart rate variability in healthy subjects: effects of age and the derivation of normal ranges for tests of autonomic function. *Br. Heart J.* 55, S. 348-354.
- Odemuyiwa, O. (1995): Effect of age on heart rate variability. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability.* Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 235-239.

- Ori, Z., Monir, G., Weiss, J., Sayhouni, X., Singer, D.H. (1992): Heart Rate Variability. *Amb. Electrocardio.* 10 (3), S. 499-537.
- Otsu, K., Nishida, K., Kimura, Y., Kuzuya, T., Hori, M., Kamada, T., Tada, M. (1994): The point mutation Arg615-->Cys in the Ca²⁺ release channel of skeletal sarcoplasmic reticulum is responsible for hypersensitivity to caffeine and halothane in malignant hyperthermia. *J. Biol. Chem.* 269 (13), S. 9413-9415.
- Otten, W., Puppe, B., Stabenow, B., Kanitz, E., Schön, P.C., Brüssow, K.P., Nürnberg, G. (1997): Agonistic interactions and physiological reactions of top- and bottom-ranking pigs confronted with a familiar and an unfamiliar group: Preliminary results. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 55, S. 79-90.
- Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Furlan, R., Pizzinelli, P., Sandrone, G., Malfatto, G., Dell'Orto, S., Piccaluga, E., et al. (1986): Power spectral analysis of heart rate and arterial blood pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ. Res.* 59, S. 178-193.
- Palmisano, B.W., Clifford, P.S., Coon, R.L. (1989): Chronic vascular catheters in growing piglets. *J. Develop. Physiol.* 12, S. 363-367.
- Palmisano, B.W., Clifford, P.S., Hoffmann, R.G., Seagard, J.L., Coon, R.L., Kampine, J.P. (1991): Depression of baroflex control of heart rate by halothane in growing piglets. *Anesthesiology* 75 (3), S. 512-519.
- Parker, G.W., Michael, L.H., Entman, M.L. (1987): An Animal Model to Examine the Response to Environmental Stress as a Factor in Sudden Cardiac Death. *Am. J. Cardiol.* 60, S. 9J-14J.
- Parker, P., Celler, B.G., Potter, E.K., McCloskey, D.I. (1984): Vagal stimulation and cardiac slowing. *J. Auton. Nerv. Syst.* 11 (2), S. 226-231.
- Perremans, S., Randall, J.M., Allegaert, L., Stiles, M.A., Rombouts, G., Geers, R. (1998): Influence of vertical vibration on heart rate of pigs. *J. Anim. Sci.* 76, S. 416-420.
- Pfeffer, M.A., Weinberg, C.R., Cook, D., et al. (1983): Differential changes of autonomic nervous system function with age in man. *Am. J. Med.* 75, S. 249-258.
- Piller, C.A.K., Stookey, J.M., Watts, J.M. (1999): Effects of mirror-image exposure on heart rate and movement of isolated heifers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 63, S. 93-102.
- Pivik, R.T., Busky, K.A., Gill, E., Hunter, P., Nevins, R. (1996): Heart rate variations during sleep in preadolescents. *Sleep* 19 (2), S. 117-135.
- Pollard, J.C. und Littlejohn, R.P. (1995): Effects of social isolation and restraint on heart rate and behaviour of alpacas. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 45 (1-2), S. 165-174.
- Pollard, J.C., Littlejohn, R.P., Suttie, J.M. (1993): Effects of isolation and mixing of social groups on heart rate and behaviour of red deer stags. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 38, S. 311-322.
- Porges, S.W. (1995a): Orienting in a defensive world: Mammalian modifications of our evolutionary heritage. A Polyvagal Theory. *Psychophysiology* 32, S. 301-318.
- Porges, S.W. (1995b): Cardiac vagal tone: A physiological index of stress. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 19 (2), S. 225-233.
- Porges, S.W., Doussard-Roosevelt, J.A., Portales, A.L., Greenspan, S.I. (1996): Infant regulation of the vagal "brake" predicts child behavior problems: A psychobiological model of social behavior. *Developmental Psychology* 29 (8), S. 697-712.

- Price, S. und Silby, R.M. (1993): Heart-rate of red deer during routine handling procedures taking account of motor activity and basal metabolic rate. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 39, S. 277.
- Price, S., Silby, R.M., Davies, M.H. (1993): Effects of behaviour and handling on heart rate in farmed red deer. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 37, S. 111-123.
- Probst, B., Eisermann, K., Stöhr, W. (1987): Diurnal patterns of scent-marking, serum testosterone concentration and heart rate in male Mongolian gerbils. *Physiol. Behav.* 41 (6), S. 543-547.
- Pschyrembel, W. (1982): *Klinisches Wörterbuch*. Berlin, New York: De Gruyter.
- Putten, G.v. und Elshof, W.J. (1978): Observations on the effect of transport on the well-being and lean quality of slaughter pigs. *Anim. Regul. Stud.* 1, S. 247-271.
- Raekallio, M. (1992): Long term ECG recording with Holter monitoring in clinically healthy horses. *Acta Vet. Scand.* 33 (1), S. 71-75.
- Raetz, S.L., Richard, C.A., Garfinkel, A., Harper, R.M. (1991): Dynamic characteristics of cardiac R-R intervals during sleep and waking states. *Sleep* 14 (6), S. 526-533.
- Raine, A., Venables, P.H., Mednick, S.A. (1997): Low resting heart rate at age 3 years predisposes to aggression at age 11 years: evidence from the Mauritius Child Health Project. *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry* 36 (10), S. 1457-1464.
- Randolph, J.H., Cromwell, G.L., Stahly, T.S., Kratzer, D.D. (1981): Effects of group size and space allowance on performance and behavior of swine. *J. Anim. Sci.* 53, S. 922
- Ravenswaardij, C.M.v., Hopman, J.C., Kollee, L.A., Amen, J.P.v., Stoelinga, G.B., Geijn, H.R.v. (1991): Influences on heart rate variability on spontaneously breathing preterm infants. *Early Hum. Dev.* 27 (3), S. 187-205.
- Ravenswaardij-Arts, C.M.A.v., Kollée, L.A.A., Hopman, J.C.W., Stoelinga, G.B.A., Geijn, H.P.v. (1993): Heart Rate Variability. *Annals of Internal Medicine* 118, S. 436-447.
- Rein, G., Atkinson, M., McCraty, R. (1995): The Physiological and Psychological Effects of Compassion and Anger. *Journal of Advancement in Medicine* 8 (2), S. 87-105.
- Robert, S. und Dallaire, A. (1986): Polygraphic analysis of the sleep-wake states and the REM sleep periodicity in domestic pigs (*Sus scrofa*). *Physiol. Behav.* 37 (2), S. 289-293.
- Robert, S., Rushen, J., Farmer, C. (1997): Both energy content and bulk of food affect stereotypic behaviour, heart rate and feeding motivation of female pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 54, S. 161-171.
- Roewer, N., Dziadzka, A., Greim, C.A., Kraas, E., Schulte am Esch, J. (1995): Cardiovascular and metabolic responses to anesthetic-induced malignant hyperthermia in swine. *Anesthesiology* 83 (1), S. 141-159.
- Rose, R.J., Allen, J.R., Hodgson, D.R., Stewart, J.H., Chan, W. (1983): Responses to submaximal treadmill exercise and training in the horse: Changes in haematology, arterial blood gas and acid base measurements, plasma biochemical values and heart rate. *Vet. Rec.* 113, S. 612-618.
- Rose, R.J., King, C.M., Evans, D.L., Tyler, C.M., Hodgson, D.R. (1995): Indices in exercise capacity in horses presented for poor racing performance. *Equine. Vet. J. Suppl.* 18, S. 418-421.
- Rosenblueth, A. und Simeone, F.A. (1936): The interrelations of vagal and accelerator effects on the cardiac rate. *Am. J. Physiol.* 110, S. 42-55.

- Rothschild, M.F., Larson, R.G., Jacobson, C., Pearson, P. (1991): PvuII polymorphisms at the porcine oestrogen receptor locus (ESR). *Anim. Genet.* 22 (5), S. 448
- Ruggiero, D.A., Anwar, M., Gootman, P.M. (1992): Presumptive adrenergic neurons containing phenylethanolamine N-methyltransferase immunoreactivity in the medulla oblongata of neonatal swine. *Brain Res.* 583 (1-2), S. 105-119.
- Rugh, K.S., Jiang, B., Hatfield, D., Garner, H.E., Hahn, A.W. (1992): Cardiac cycle length variability in ponies at rest and during exercise. *J. Appl. Physiol.* 73 (4), S. 1572-1577.
- Ruha, A., Sallinen, S., Nissilä, S. (1997): A real-time microprocessor QRS detector system with a 1 ms timing accuracy for the measurement of ambulatory HRV. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 44, S. 159-167.
- Ryan, S.M., Goldenberger, A.L., Pincus, S.M., Mietus, J., Lipsitz, L.A. (1994): Gender and age-differences in heart rate dynamics: are women more complex than men? *J. Am. Coll. Cardiol.* 24, S. 1700-1707.
- Sachs, L. (1997): *Angewandte Statistik - Anwendung klassischer Methoden.* (8. Aufl.) Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Samraus, H.H. (1981): Das Sozialverhalten von Sauen bei Gruppenhaltung. *Züchtungskunde* 53, S. 147-157.
- Saul, J.P. (1990): Beat-to-beat variations of heart rate reflect modulation of cardiac autonomic outflow. *News Physiol. Sci.* 5, S. 32-37.
- Saul, J.P., Arai, Y., Berger, R.D., Lilly, L.S., Colucci, W.S., Cohen, R.J. (1988): Assessment of autonomic regulation in chronic congestive heart failure by heart rate spectral analysis. *Am. J. Cardiol.* 61 (15), S. 1292-1299.
- Scafidi, F.A., Field, T.M., Schanberg, S.M., Bauer, C.R., Tucci, K., Roberts, J., Morrow, C., Kuhn, C.M. (1990): Massage stimulates growth in preterm infants: a replication. *Infant Behavior and Development* 13, S. 167-188.
- Schaefer, A.L., Salomons, M.O., Tong, A.K.W., Sather, A.P., LePage, P. (1990): The effect of environmental enrichment on aggression in newly weaned pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 27, S. 41-52.
- Schaffartzik, W., Arcos, J., Tsukimoto, K., Mathieu-Costello, O., Wagner, P.D. (1993): Pulmonary interstitial edema in the pig after heavy exercise. *J. Appl. Physiol.* 75 (6), S. 2535-2540.
- Schmidt, G. und Morfill, G.E. (1995): Nonlinear methods for heart rate variability assessment. In: Malik, M. und Camm, A.J. (Hrsg.): *Heart rate variability.* Armonk, NY: Futura Publishing Company, Inc. S. 87-98.
- Schmidt, R.F. (1977): Integrative Funktionen des Zentralnervensystems. In: Schmidt, R.F. und Thews, G. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen.* (19. Aufl.) Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. S. 149-176.
- Scholz, U.J., Bianchi, A.M., Cerutti, S., Kubicki, S. (1997): Vegetative background of sleep: spectral analysis of heart rate variability. *Physiol. Behav.* 65 (5), S. 1037-1043.
- Schouten, W., Rushen, J., Passillé, A.M.B.d. (1991): Stereotypic behavior and heart rate in pigs. *Physiol. Behav.* 50 (3), S. 617-624.
- Schwartz, J.B., Gibb, W.J., Tran, T. (1991): Aging effects on heart rate variability. *J. Gerontol.* 46, S. M99-M106.

- Schwarze, N. (1993): Beurteilung der Adaptation vom Hausschwein (*Sus scrofa domestica*) an chronisch intermittierenden Stress unter Berücksichtigung physiologischer und histopathologischer Merkmale der Hypothalamo-Hypophysären-Adrenocorticalen Achse. [Dissertation]. Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Schwerin, M., Lengerken, G.v., Fredholm, M., Christensen, K., Krause, S. (1995): DNA polymorphisms in two transcription control elements (SD1- and TATA-box) of porcine HSP70.2 gene detected by allele-specific PCR. *Anim. Genet.* 26 (3), S. 203-204.
- Scientific Veterinary Committee (1997): The welfare of intensively kept pigs. Report to the Directorate General XXIV of the European Commission. Adopted 30. September 1997. Doc. XXIV/ScVC/0005/97.
- Scott, S.C., Inman, J.D., Moss, I.R. (1990): Ontogeny of sleep/wake and cardiorespiratory behavior in unanesthetized piglets. *Respir. Physiol.* 80 (1), S. 83-101.
- Seeherman, H.J. und Morris, E.A. (1990): Methodology and repeatability of a standardized treadmill exercise test for clinical evaluation of fitness in horse. *Equine. Vet. J. Suppl.* 9, S. 20-25.
- Sgoifo, A., Boer, S.F.d., Westenbroek, C., Maes, F.W., Beldhuis, H., Suzuki, T., Koolhaas, J.M. (1997): Incidence of arrhythmias and heart rate variability in wild-type rats exposed to social stress. *Am. J. Physiol.* 273 (4), S. H1754-H1760.
- Shannon, D.C., Carley, D.W., Benson, H. (1987): Aging of modulation of heart rate. *Am. J. Physiol.* 253, S. H874-H877.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B., Chen, H.J. (1968): A comparative study of various tests of normality. *J. Am. Stat. Association* 63, S. 1343-1372.
- Sherritt, G.W., Graves, H.B., Gobble, J.L., Hazlett, V.E. (1974): Effects of mixing pigs during growing-finishing period. *J. Anim. Sci.* 39, S. 834
- Siegel, J.M. und Harper, R.M. (1996): Sleep. In: Greger, R. und Winhorst, U. (Hrsg.): *Comprehensive human physiology - from cellular mechanisms to integration*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, S. 1183-1198.
- Siegel, S. (1985): *Nichtparametrische statistische Methoden*. (2. Aufl.). Eschborn bei Frankfurt a.M.: Fachbuchhandlung für Psychologie, Verl.-Abt.
- Simonsen, H.B. (1990): Behaviour and distribution of fattening pigs in the multi-activity pen. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 27, S. 311-324.
- Simpson, D.M. und Wicks, R. (1988): Spectral analysis of heart rate indicated baroreceptor related heart rate variability in elderly persons. *J. Gerontol.* 43, S. M21-M24.
- Skarda, R.T., Muir, W.W., Milne, D.W., et al. (1976): Effects of training on resting and postexercise ECG in standardbred horses, using a standardized exercise test. *Am. J. Vet. Res.* 37 (12), S. 1485-1488.
- Skinner, J.E., Beder, S.D., Entman, M.L. (1983): Psychological stress activates phosphorylase in the heart of the conscious pig without increasing heart rate and blood pressure. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 80 (July), S. 4513-4517.
- Sleigh, J.W. und Henderson, J.D. (1995): Heart rate variability and preoperative anxiety. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 39 (8): S. 1059-1061.
- Sloet van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M.M., Hoven, R.v., Breukink, H.J. (1988): The accuracy of three different heart rate meters used for studies in the exercising horse. *J. Vet. Med.* 35, S. 665-672.

- Spensley, J.C., Lines, J.A., Hartung, J., Waran, N.K. (1994): The effect of noise on individual piglets. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 41, S. 278
- Stein, P.K., Bosner, M.S., Kleiger, R.E., Conger, B.M. (1994): Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone. *Am. Heart J.* 127, S. 1376-1381.
- Stöhr, W. (1986): Basic values, diurnal pattern and variance of heart rate in tree shrews. *J. Auton. Nerv. Syst. Suppl.* S. 177-181.
- Stöhr, W., Eisermann, K., Holst, D.v. (1986): Heart rate in tree shrews: reaction to non-social and social stimuli. *J. Auton. Nerv. Syst. Suppl.* S. 671-674.
- Stookey, J.M. und Gonyou, H.W. (1994): The effects of regrouping on behavioural and production parameters in finishing swine. *J. Anim. Sci.* 72, S. 2804-2811.
- Suomi, S.J. (1983): Social development in rhesus monkeys: consideration of individual differences. In: Oliverio, A. und Zapella, M. (Hrsg.): *The Behaviour of Human Infants*. New York: Plenum Press, S. 71-83.
- Susuki, A., Tsutsumi, H., Kusakabe, K., Kuwahara, M., Sugano, S., Tanigawa, M. (1998): Establishment of a 24-hour electrocardiogram recording system using a Holter recorder for miniature swine. *Lab. Anim.* 32 (2), S. 165-172.
- Tan, S.S.L. und Shackleton, D.M. (1990): Effects of mixing unfamiliar individuals and of azaperone on the social behaviour of finishing pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 26, S. 168.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996): Heart Rate Variability - Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* 93, S. 1043-1065.
- Thayer, J.F., Hahn, A.W., Pearson, M.A., Sollers, J.J.3., Johnson, P.J., Loch, W.E. (1997): Heart rate variability during exercise in the horse. *Biomed. Sci. Instrum.* 34, S. 246-251.
- Thielscher, H.-H. (1984): Zur Pathogenese des akuten Herzversagens beim Schwein. *Tierärztl. Umschau* 39, S. 692-694.
- Thielscher, H.-H. (1986): Das Herz/Kreislaufsystem bei freilaufenden Schweinen der deutschen Landrasse. *Tierärztl. Umschau* 41, S. 330-336.
- Thielscher, H.-H. (1987): Das Schweineherz - ein pathophysiologisches Problem. *Pro Veterinario* 3, S. 12
- Tiller, W.A., McCraty, R., Atkinson, M. (1996): Cardiac coherence: a new, noninvasive measure of autonomic nervous system order. *Alternative Therapies* 2 (1), S. 52-65.
- Tong, S., Frasier, I.D., Ingenito, S., Sica, A.L., Gootman, N., Gootman, P.M. (1997): Age-related effects of cardiac sympathetic denervation on the responses to cardiopulmonary receptor stimulation in piglets. *Pediatr. Res.* 41 (1), S. 72-77.
- Tong, S., Ingenito, S., Anderson, J.E., Gootman, N., Sica, A.L., Gootman, P.M. (1995): Development of a swine animal model for the study of sudden infant death syndrome. *Lab. Anim. Sci.* 45 (4), S. 398-403.
- Toscani, L., Gangemi, P.F., Parigi, A., Silipo, R., Ragghianti, P., Sirabella, E., Morelli, M., Bagnoli, L., Vergassola, R., Zaccara, G. (1996): Human heart rate variability and sleep stages. *Ital. J. Neurol. Sci.* 17 (6), S. 437-439.
- Troncoso, E., Rodriguez, M., Feria, M. (1995): Light-induced arousal affects simultaneously EEG and heart rate variability in the rat. *Neurosci. Lett.* 188 (3), S. 167-170.

- Tsuji, H., Venditti, F.J.J., Manders, E.S., Evans, J.C., Larson, M.G., Feldman, C.L., Levy, D. (1996): Determinants of heart rate variability. *J. Am. Coll. Cardiol.* 28, S. 1539-1546.
- Tuininga, Y.S., Langen, C.D.d., Crijns, H.J., Wiesfeld, A.C., Mook, P.H., Bel, K.J., Lie, K.I. (1996): Electrophysiological, rate dependent, and autonomic effects off the class III antiarrhythmic almokalant after myocardial infaction in the pig. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 19 (5), S. 802-810.
- Tulppo, M.P., Makikallio, T.H., Seppänen, T., Airaksinen, J.K., Huikuri, H.V. (1998): Heart rate dynamics during accentuated sympathovagal interaction. *Am. J. Physiol.* 274 (3 Pt 2), S. H810-H816.
- Tulppo, M.P., Mäkikallio, T.H., Seppänen, T., Thompson, R.W., Wilkinson, W.J., Blair, S.N., FACSM, Laukkanen, R.T., Huikuri, H.V. (1996a): Non-linear dynamics of heart rate variability during exercise. *ACSM (Suppl.)* 28.
- Tulppo, M.P., Mäkikallio, T.H., Takala, T.E.S., Seppänen, T., Huikuri, H.V. (1996b): Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am. J. Physiol.* 271, S. H244-H252.
- Ulmer, H.-V. (1977): Arbeitsphysiologie - Umweltphysiologie. In: Schmidt, R.F. und Thews, G. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 19. Aufl., S. 545-567.
- Vatner, S.F., Franklin, D., Braunwald, E. (1971): Effects of anesthesia and sleep on circulatory to carotid sinus nerve stimulation. *Am. J. Physiol.* 220, S. 1249-1255.
- Veissier, I., Le Neindre, P., Trillat, G. (1989): Adaptability of calves during weaning. *Biol. Behav.* 14, S. 66-87.
- Villé, H., Bertels, S., Geers, R., Janssens, S., Goedseels, V., Parduyns, G., Bael, J.v., Goossens, K., Bosschaerts, L., Ley, J.d., Heylen, L. (1993): Electrocardiogram parameters of piglets during housing, handling and transport. *Anim. Prod.* 56, S. 211-216.
- Vincent, I.C. und Leahy, R.A. (1997): Real-time non-invasive measurement of heart rate in working dogs: a technique with potential applications in objective assessment of welfare problems. *The Veterinary Journal* 153, S. 179-184.
- Wade, C.E., Hannon, J.P., Bossone, C.A., Hunt, M.M., Rodkey, W.G. (1986): Cardiovascular and hormonal responses of conscious pigs during physical restraint. In: Tumbleson, M.E. (Hrsg.): *Swine in biomedical research*. New York: Plenum Press, S. 1395-1404.
- Webster, S.D. und Jones, A.R. (1998): Individual variation in the heart rate of piglets; evidence against stable differences. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 55, S. 269-278.
- Wechsler, B. (1997): Schwein. In: Sambraus, H.H. und Steiger, A. (Hrsg.): *Das Buch vom Tierschutz*. Stuttgart: Enke, S. 173-185.
- Weinandy, R. und Gattermann, R. (1995): Measurement of physiological parameters and activity in a Mongolian gerbil during gravidity and lactation with an implanted transmitter. *Physiol. Behav.* 58 (4), S. 811-814.
- Weinandy, R. und Gattermann, R. (1997): Time of day and stress response to differend stressors in experimental animals. Part II: Mongolian Gerbil (*Meriones unguiculatus*). *J. Exp. Anim. Sci.* 38 (3), S. 109-122.
- White, R.G., DeShazer, J.A., Tressler, C.J., Borchner, G.M., Davey, S., Waninge, A., Parkhurst, A.M., Milanuk, M.J., Clemens, E.T. (1995): Vocalization and physiological response of pigs during castration with or without a local anesthetic. *J. Anim. Sci.* 73 (2), S. 381-386.

- Wiepkema, P.R. (1990): Stress: Ethological Implications. In: Puglisi-Allegra, S. und Oliverio, A. (Hrsg.): *Psychobiology of stress*. Kluwer Academic Publishers, S. 1-13.
- Wilkinson, R.T., El-Beheri, S., Giesecking, C.C. (1972): Performance and arousal as a function of incentive, information load, and task novelty. *Psychophysiology* 9, S. 589-599.
- Wilson, R.G., Isler, R.B., Thornton, J.R. (1983): Heart rate, lactic acid production and speed during a standardized exercise test in standardbred horses. In: Snow, D.H., Persson, S.G.B., Rose, R.J. (Hrsg.): *Equine Exercise Physiology 1*. Cambridge: Granta Editions, S. 487-496.
- Wittke, G. und Bayer, A. (1968): Die Herzschlagfrequenz von Pferden bei Vielseitigkeitsprüfungen. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* 81 (19), S. 389-392.
- Witzleb, E. (1977): Funktionen des Gefäßsystems. In: Schmidt, R.F. und Thews, G. (Hrsg.): *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 19. Aufl., S. 387-451.
- Woo, M.A., Stevenson, W.G., Moser, D.K., Middlekauff, H.R. (1994): Complex heart rate variability and serum norepinephrine levels in patients with advanced heart failure. *J. Am. Coll. Cardiol.* 23, S. 565-569.
- Woo, M.A., Stevenson, W.G., Moser, D.K., Trelease, R.B., Harper, R.M. (1992): Patterns of beat-to-beat heart rate variability in advanced heart failure. *Am. Heart J.* 123, S. 704-710.
- Yataco, A.R., Fleisher, L.A., Katzel, L.I. (1997): Heart rate variability and cardiovascular fitness in senior athletes. *Am. J. Cardiol.* 80, S. 1389-1391.
- Yeragani, V.K., Sobolewski, E., Kay, J., Jampala, V.C., Igel, G. (1997): Effect of age on long-term heart rate variability. *Cardiovasc. Res.* 35 (1), S. 35-42.
- Young, R.J., Lawrence, A.B., Carruthers, J., Williams, B.G., Farmer, K.H., MacLeod, H.A., McNaught, D., Richardson, B. (1994): The use of species-specific operant devices for environmental enrichment. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 41, S. 279.
- Zugaib, M., Forsythe, A.B., Nuwayhid, B., Lieb, S.M., Tabsh, K., Erkkola, R., Ushioda, E., Brinkman, C.R.3., Assali, N.S. (1980): Mechanisms of beat-to-beat variability in the heart rate of the neonatal lamb. I. Influence of the autonomic nervous system. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 138 (4), S. 444-452.
- Zwiener, U., Hoyer, D., Bauer, R., Lüthke, B., Walter, B., Schmidt, K., Hallmeyer, S., Kratzsch, B., Eiselt, M. (1996): Deterministic-chaotic and periodic properties of heart rate and arterial pressure fluctuations and their mediation in piglets. *Cardiovasc. Res.* 31, S. 455-465.
- Zwiener, U., Hoyer, D., Lüthke, B., Schmidt, K., Bauer, R. (1995): Relations between parameters of spectral power densities and deterministic chaos of heart-rate variability. *J. Auton. Nerv. Syst.*

Tab. A-2: Anzahl valider 5-min-Intervalle und HR im Haltungsexperiment. Herzfrequenz (HR): Mediane aus allen validen 5-min-Intervallen je Lebenswoche und Tier. Grau markierte Werte: Gruppenhaltung der Tiere mit gleicher Gruppennummer; ohne Markierung: Einzelhaltung. Randbedingungen: Vo = ohne und Vm = mit zusätzlichen Manipulationsmöglichkeiten; K = Kontrolle. Untere Tabelle: Median (\tilde{x}), Standardfehler des Medians ($s_{\tilde{x}}$) und Median-Deviation (\tilde{D}) aus allen Vo, Vm, Vo+m und K.

Parameter			Anzahl valider 5-min-Intervalle						HR [bpm]					
Tier Nr.	Gruppe Nr.	Randbeding.	Lebenswoche						Lebenswoche					
			20	21	22	23	24	25	20	21	22	23	24	25
			37	1	Vo	34	22	11	35	29	28	101,4	93,4	112,1
39	1	Vo	6	17	6	23	18	25	106,8	123,3	111,5	107,9	112,3	105,8
52	1	Vo	28	17	6	30	19	23	122,0	121,2	116,7	113,6	113,4	107,7
53	1	Vo	20	22	9	35	18	42	114,5	109,3	115,8	102,9	101,4	92,5
35	2	Vo	34	25	12	25	43	39	87,1	89,0	89,3	88,2	80,9	80,2
38	2	Vo	20	13	6	15	11	25	133,9	129,6	130,2	126,3	126,3	113,9
48	2	Vo	37	21	7	30	29	25	102,7	95,7	106,6	100,9	97,2	91,3
54	2	Vo	24	19	5	9	14	13	113,7	109,1	110,5	115,8	107,9	95,8
33	3	Vm	37	21	16	20	25	26	95,8	106,2	111,6	96,6	100,0	95,9
41	3	Vm	28	16	14	7	20	22	126,8	109,6	123,5	121,5	120,4	113,7
43	3	Vm	38	19	15	17	23	34	106,3	101,7	108,7	105,1	94,3	94,5
45	3	Vm	35	20	10	23	21	26	105,8	104,3	112,8	104,0	103,4	93,1
31	4	Vm	40	20	7	15	27	34	109,5	92,7	98,4	105,4	96,5	91,4
44	4	Vm	42	26	11	17	33	31	108,4	100,4	113,9	112,1	110,1	102,2
46	4	Vm	40	23	12	14	33	33	108,9	100,7	105,2	95,8	99,2	94,8
51	4	Vm	29	22	16	22	31	21	120,7	119,8	117,8	114,2	114,5	103,6
61	-	K	20	21	23	26	25	35	108,2	100,7	97,2	104,9	94,0	98,4
62	-	K	24	31	37	23	28	29	115,3	111,5	105,6	104,5	99,4	99,7
72	-	K	17	37	34	42	53	47	99,5	99,3	98,0	96,2	95,1	93,0
74	-	K	32	42	43	37	39	43	98,8	102,5	99,2	103,6	97,4	99,2
77	-	K	17	49	38	38	63	34	104,0	92,9	93,5	90,6	89,0	83,2
78	-	K	25	52	55	42	56	33	98,5	98,5	92,6	94,4	96,0	90,2
82	-	K	21	42	29	20	44	49	108,7	98,3	105,1	96,2	99,6	95,7
91	-	K	10	17	24	22	37	49	100,7	100,7	100,6	95,6	93,9	89,6
alle Vo (n = 8)	\tilde{x}	26,0	20,0	6,5	27,5	18,5	25,0	110,3	109,2	111,8	105,5	104,6	95,5	
	$s_{\tilde{x}}$	4,0	1,4	1,4	5,8	4,3	4,6	5,9	8,6	2,9	4,3	5,1	4,7	
	\tilde{D}	7,0	2,5	1,0	6,0	6,0	2,5	8,3	13,8	4,5	6,4	8,2	7,2	
alle Vm (n = 8)	\tilde{x}	37,5	20,5	13,0	17,0	26,0	28,5	108,6	103,0	112,2	105,3	101,7	95,4	
	$s_{\tilde{x}}$	3,2	1,2	1,7	2,3	3,5	3,5	4,3	2,6	3,6	5,1	5,2	3,0	
	\tilde{D}	2,5	1,5	2,5	3,0	5,0	5,0	2,5	2,9	4,5	7,8	6,3	3,2	
Versuch alle Vo+m (n = 16)	\tilde{x}	34,0	20,5	10,5	21,0	24,0	26,0	108,6	105,3	111,9	105,3	102,4	95,5	
	$s_{\tilde{x}}$	2,6	1,4	1,7	2,9	2,9	2,3	2,5	2,6	2,1	3,1	4,3	3,0	
	\tilde{D}	6,0	1,5	3,5	6,0	5,5	4,5	5,9	7,2	4,4	7,6	7,1	4,1	
Kontrolle alle K (n = 8)	\tilde{x}	20,5	39,5	35,5	31,5	41,5	39,0	102,3	100,0	98,6	96,6	96,2	95,5	
	$s_{\tilde{x}}$	2,3	8,1	5,5	5,8	8,1	4,6	2,9	1,2	3,3	2,9	1,6	2,8	
	\tilde{D}	3,5	9,0	7,0	9,0	12,5	7,0	3,7	1,6	3,5	3,7	1,8	4,5	

Tab. A-3: SD1 und SD2 im Haltungsexperiment. Mediane der Parameterwerte aus allen validen 5-min-Intervallen je Lebenswoche und Tier. Grau markierte Werte: Gruppenhaltung der Tiere mit gleicher Gruppennummer; ohne Markierung: Einzelhaltung. Randbedingungen während Gruppenhaltung: Vo = (ohne) und Vm = mit zusätzlichen Manipulationsmöglichkeiten; K = Kontrolle. Untere Tabelle: Median (\tilde{x}), Standardfehler des Medians ($s_{\tilde{x}}$) und Median-Deviation (\tilde{D}) aus allen Vo, Vm, Vo+m und K.

Parameter			SD1 [ms]						SD2 [ms]					
Tier Nr.	Gruppe Nr.	Randbeding.	Lebenswoche						Lebenswoche					
			20	21	22	23	24	25	20	21	22	23	24	25
			37	1	Vo	9,6	14,0	5,9	8,4	12,4	11,8	53,3	56,1	42,2
39	1	Vo	25,8	11,8	9,8	14,1	12,7	16,1	55,7	37,3	36,7	42,9	42,1	53,2
52	1	Vo	6,9	5,7	5,3	6,7	5,6	7,6	26,1	25,1	21,3	27,6	27,4	29,9
53	1	Vo	8,2	12,5	7,4	7,8	11,0	15,1	47,5	45,8	45,6	48,6	53,4	65,0
35	2	Vo	29,5	32,2	21,1	27,6	39,4	31,8	68,9	53,7	69,7	73,2	78,1	77,8
38	2	Vo	7,8	7,9	7,1	7,2	5,1	6,8	33,4	32,2	49,6	34,8	34,4	39,4
48	2	Vo	14,8	16,0	10,6	16,1	16,3	20,3	44,3	51,9	41,4	54,7	56,7	56,6
54	2	Vo	8,6	7,1	6,7	5,1	5,8	12,8	53,4	42,0	58,8	53,4	37,6	65,3
33	3	Vm	13,6	6,8	5,3	9,2	5,5	7,8	50,5	39,6	30,8	49,6	41,8	42,4
41	3	Vm	6,9	11,4	4,6	3,8	4,0	7,4	32,1	39,8	27,3	23,3	27,0	29,6
43	3	Vm	9,5	12,5	8,0	11,6	16,5	17,7	37,8	50,5	24,8	32,0	42,1	47,5
45	3	Vm	10,6	9,0	3,3	9,4	8,2	15,6	50,4	48,9	33,7	47,8	43,3	66,0
31	4	Vm	8,9	16,1	14,1	10,6	11,3	17,4	48,8	64,1	60,9	42,5	55,1	69,1
44	4	Vm	16,4	20,4	15,3	10,0	8,3	14,7	48,7	55,4	41,9	43,0	37,3	57,9
46	4	Vm	8,7	14,3	10,4	13,6	9,8	16,4	46,0	55,0	49,8	63,8	57,2	60,1
51	4	Vm	6,7	5,3	4,3	5,5	4,5	7,7	28,2	29,3	29,5	36,3	33,9	39,1
61	-	K	6,3	10,7	8,3	8,8	12,9	8,2	33,0	39,3	47,3	37,1	48,9	35,3
62	-	K	4,6	7,0	9,0	8,1	11,2	10,3	28,9	41,5	39,3	36,3	45,5	44,5
72	-	K	21,3	14,8	18,1	18,9	22,4	23,4	61,6	49,8	52,0	61,3	74,1	64,7
74	-	K	22,6	17,8	21,4	19,8	21,0	23,5	53,1	49,7	47,0	52,6	56,1	59,3
77	-	K	10,0	13,2	15,1	12,5	13,6	17,5	38,7	48,8	55,7	46,4	49,2	65,0
78	-	K	12,9	15,9	16,5	16,6	21,2	30,7	54,5	52,6	54,4	58,8	59,5	83,7
82	-	K	10,4	11,7	9,8	16,7	13,5	12,9	35,1	37,7	40,7	42,1	47,0	48,4
91	-	K	8,4	8,4	9,2	9,2	11,2	10,4	38,1	39,9	41,7	35,3	39,5	41,9
alle Vo (n = 8)	\tilde{x}	9,1	12,1	7,3	8,1	11,7	14,0	50,4	43,9	43,9	45,8	47,7	58,8	
	$s_{\tilde{x}}$	5,2	2,6	1,4	2,7	3,1	3,7	6,4	6,2	6,4	5,7	10,2	7,5	
	\tilde{D}	1,7	4,1	1,7	2,2	5,3	4,3	5,7	8,9	6,5	8,3	11,8	6,4	
alle Vm (n = 8)	\tilde{x}	9,2	12,0	6,7	9,7	8,3	15,1	47,4	49,7	32,2	42,8	42,0	52,7	
	$s_{\tilde{x}}$	1,9	2,7	2,8	1,8	2,0	2,8	5,3	4,5	6,5	5,1	6,1	7,8	
	\tilde{D}	1,9	3,6	2,9	1,4	2,9	2,4	3,1	7,8	6,2	6,6	6,4	11,8	
Versuch alle Vo+m (n = 16)	\tilde{x}	9,2	12,1	7,3	9,3	9,1	14,9	48,1	47,3	41,7	43,0	42,1	57,3	
	$s_{\tilde{x}}$	1,6	1,8	1,5	1,3	2,0	2,5	3,7	4,1	5,4	3,8	5,1	6,5	
	\tilde{D}	1,9	3,6	2,6	2,5	3,5	3,0	5,2	7,7	9,5	7,4	9,8	9,3	
Kontrolle alle K (n = 8)	\tilde{x}	10,2	12,5	12,5	14,6	13,6	15,2	38,4	45,2	47,2	44,2	49,1	53,9	
	$s_{\tilde{x}}$	4,3	2,2	2,6	2,9	2,9	3,8	6,2	3,0	4,0	6,5	4,1	6,7	
	\tilde{D}	3,3	2,9	3,8	4,8	2,4	5,9	7,5	5,0	6,0	8,2	5,3	11,0	

Tab. A-4: Änderung der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 zur Vorwoche im Haltungsexperiment. Differenzen der Parameterwerte aufeinanderfolgender Lebenswochen (LW(n)-LW(n-1)) aus Tabellen A-2 (HR) und A-3 (SD1, SD2) im Anhang II-III (z.T. leichte rundungsbedingte Abweichungen!). Grau markierte Werte: Gruppenhaltung der Tiere mit gleicher Gruppennummer; ohne Markierung: Einzelhaltung. Randbedingungen während Gruppenhaltung: Vo = ohne und Vm = mit zusätzlichen Manipulationsmöglichkeiten; K = Kontrolle. Untere Tabelle: Median (\tilde{x}), Standardfehler des Medians ($s_{\tilde{x}}$) und Median-Deviation (\tilde{D}) aus allen Vo, Vm, Vo+m und K.

Parameter			HR [bpm]					SD1 [ms]					SD2 [ms]				
Tier Nr.	Gruppe Nr.	Randbeding.	Veränderung zur Vorwoche in Lebenswoche					Veränderung zur Vorwoche in Lebenswoche					Veränderung zur Vorwoche in Lebenswoche				
			21	22	23	24	25	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
37	1	Vo	-8,0	18,8	-9,1	-7,2	-0,8	4,4	-8,1	2,5	4,0	-0,7	2,8	-13,9	-1,4	28,9	-8,8
39	1	Vo	16,6	-11,8	-3,6	4,3	-6,4	-14,0	-2,1	4,4	-1,4	3,4	-18,4	-0,6	6,3	-0,9	11,2
52	1	Vo	-0,7	-4,5	-3,1	-0,2	-5,7	-1,2	-0,5	1,5	-1,1	2,0	-1,0	-3,8	6,3	-0,2	2,5
53	1	Vo	-5,2	6,5	-12,9	-1,6	-8,9	4,3	-5,1	0,4	3,2	4,1	-1,7	-0,2	3,0	4,8	11,6
35	2	Vo	1,9	0,3	-1,1	-7,4	-0,6	2,8	-11,1	6,5	11,8	-7,6	-15,2	16,0	3,6	4,9	-0,3
38	2	Vo	-4,3	0,6	-3,8	0,0	-12,5	0,1	-0,8	0,1	-2,1	1,7	-1,2	17,4	-14,8	-0,4	5,0
48	2	Vo	-7,0	10,9	-5,6	-3,7	-5,9	1,2	-5,4	5,5	0,3	4,0	7,6	-10,5	13,3	2,0	-0,1
54	2	Vo	-4,7	1,4	5,3	-7,9	-12,1	-1,5	-0,4	-1,6	0,7	7,1	-11,4	16,8	-5,4	-15,9	27,8
33	3	Vm	10,3	5,4	-15,0	3,4	-4,1	-6,8	-1,5	3,9	-3,7	2,3	-10,9	-8,9	18,8	-7,8	0,6
41	3	Vm	-17,3	13,9	-2,0	-1,1	-6,6	4,5	-6,8	-0,8	0,2	3,5	7,7	-12,5	-4,0	3,7	2,7
43	3	Vm	-4,6	7,0	-3,6	-10,7	0,1	3,0	-4,5	3,6	4,9	1,2	12,8	-25,7	7,2	10,1	5,4
45	3	Vm	-1,5	8,4	-8,8	-0,6	-10,3	-1,6	-5,7	6,1	-1,2	7,4	-1,6	-15,2	14,1	-4,5	22,7
31	4	Vm	-16,8	5,7	7,1	-9,0	-5,1	7,2	-2,0	-3,5	0,7	6,1	15,3	-3,2	-18,4	12,6	14,0
44	4	Vm	-8,0	13,4	-1,7	-2,1	-7,9	4,0	-5,1	-5,3	-1,7	6,4	6,7	-13,5	1,1	-5,7	20,6
46	4	Vm	-8,2	4,5	-9,4	3,4	-4,4	5,6	-4,0	3,3	-3,8	6,6	9,0	-5,2	14,0	-6,6	2,9
51	4	Vm	-1,0	-2,0	-3,6	0,3	-10,9	-1,5	-1,0	1,2	-1,0	3,2	1,1	0,2	6,8	-2,4	5,2
61	-	K	-7,5	-3,4	7,7	-10,9	4,3	4,4	-2,4	0,5	4,1	-4,7	6,3	8,0	-10,3	11,9	-13,6
62	-	K	-3,7	-5,9	-1,1	-5,1	0,2	2,5	2,0	-0,9	3,1	-0,9	12,7	-2,2	-3,0	9,2	-1,0
72	-	K	-0,2	-1,4	-1,7	-1,1	-2,1	-6,5	3,3	0,8	3,5	1,0	-11,8	2,2	9,3	12,8	-9,4
74	-	K	3,7	-3,3	4,5	-6,2	1,8	-4,8	3,7	-1,6	1,2	2,5	-3,3	-2,7	5,6	3,5	3,2
77	-	K	-11,1	0,7	-2,9	-1,6	-5,8	3,2	1,9	-2,6	1,1	3,9	10,1	6,9	-9,4	2,9	15,8
78	-	K	0,0	-5,9	1,8	1,6	-5,8	3,0	0,6	0,1	4,6	9,5	-2,0	1,9	4,4	0,8	24,2
82	-	K	-10,4	6,8	-8,8	3,4	-3,9	1,3	-1,9	6,9	-3,2	-0,6	2,6	3,1	1,3	5,0	1,4
91	-	K	0,0	-0,1	-5,0	-1,7	-4,3	0,0	0,9	0,0	2,1	-0,8	1,8	1,8	-6,4	4,3	2,4
alle	\tilde{x}		-4,5	1,0	-3,7	-2,6	-6,2	0,7	-3,6	2,0	0,5	2,7	-1,5	-0,4	3,3	0,9	3,8
Vo	$s_{\tilde{x}}$		2,6	4,4	2,3	2,1	3,3	1,7	2,2	1,5	1,6	1,4	5,2	7,9	3,4	1,7	3,4
(n=8)	\tilde{D}		3,0	5,5	2,3	3,6	4,1	2,1	2,9	2,1	2,2	1,4	6,7	11,8	3,8	2,8	5,7
alle	\tilde{x}		-6,3	6,3	-3,6	-0,9	-5,8	3,5	-4,2	2,2	-1,1	4,8	7,2	-10,7	7,0	-3,5	5,3
Vm	$s_{\tilde{x}}$		4,6	2,6	2,2	3,6	1,8	2,1	1,2	2,1	1,3	1,3	4,1	3,5	5,2	4,8	5,2
(n=8)	\tilde{D}		5,1	2,0	3,5	2,7	1,9	2,9	1,9	2,3	1,5	1,8	5,8	5,0	7,0	3,7	3,7
alle	\tilde{x}		-4,6	5,6	-3,6	-1,3	-6,2	2,0	-4,2	2,0	-0,4	3,4	0,1	-4,5	4,9	-0,3	5,1
Vo+m	$s_{\tilde{x}}$		2,0	2,3	2,0	2,1	1,3	1,7	1,1	1,1	0,6	1,2	2,7	3,5	2,5	2,7	2,6
(n=16)	\tilde{D}		3,5	5,1	2,3	3,5	2,4	2,9	2,4	2,1	1,2	2,0	7,6	7,0	7,4	5,1	5,3
alle	\tilde{x}		-2,0	-2,3	-1,4	-1,7	-3,0	1,9	1,4	0,0	2,6	0,2	2,2	2,0	-0,8	4,6	1,9
K	$s_{\tilde{x}}$		3,0	1,9	2,7	2,3	2,2	2,3	1,5	0,7	0,9	1,4	3,9	2,6	4,3	2,6	7,3
(n=8)	\tilde{D}		3,8	2,6	3,4	3,3	2,8	1,6	1,4	0,8	1,4	1,7	4,8	2,6	6,0	2,8	7,1

Tab. A-5: LW vs. LW - p-Werte für HR, SD1 und SD2 im Haltungsexperiment. Statistische Prüfung auf Unterschiede in den Parameterwerten zwischen den Lebenswochen (LW) innerhalb der Stichprobe von 16 Schweinen (Versuch: 4er-Gruppenhaltung ab LW 22) bzw. von 8 Schweinen (Kontrolle: nur Einzelhaltung) mittels Wilcoxon-Paardifferenzen-Test; zweiseitig; Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$ (*). Die den Stichproben zugrundeliegenden Werte sind in Tabelle A-2 und A-3 im Anhang II-III dargestellt.

LW vs. LW	p-Werte (HR)		p-Werte (SD1)		p-Werte (SD2)	
	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle
20 vs. 21	,0557	,1235	,3011	,8658	,9176	,4838
20 vs. 22	,5349	,0251*	,0097*	,2076	,1477	,2626
20 vs. 23	,0386*	,0499*	,1208	,1235	,6791	,0929
20 vs. 24	,0023*	,0117*	,5181	,0251*	,7564	,0117*
20 vs. 25	,0005*	,0173*	,0929	,0117*	,0023*	,0117*
21 vs. 22	,0174*	,2626	,0004*	,2076	,2052	,1834
21 vs. 23	,7960	,1235	,0627	,0929	,9588	,5754
21 vs. 24	,2343	,0173*	,0980	,0117*	,8767	,0173*
21 vs. 25	,0023*	,0117*	,0879	,0499*	,0052*	,0357*
22 vs. 23	,0131*	,6744	,0557	,8886	,1788	,5754
22 vs. 24	,0005*	,0499*	,2146	,0357*	,0980	,1614
22 vs. 25	,0004*	,0280*	,0008*	,0357*	,0016*	,0687
23 vs. 24	,0609	,1235	,9999	,0687	,9176	,0117*
23 vs. 25	,0004*	,0117*	,0009*	,1235	,0038*	,0173*
24 vs. 25	,0005*	,1614	,0084*	,7794	,0045*	,4008

Tab. A-6: LW vs. LW - p-Werte für Änderungen der HR, SD1 und SD2 zur Vorwoche im Haltungsexperiment. Statistische Prüfung auf Unterschiede in den Parameterwerten zwischen den Lebenswochen (LW) innerhalb der Stichprobe von 16 Schweinen (Versuch: 4er-Gruppenhaltung ab LW 22) bzw. von 8 Schweinen (Kontrolle: nur Einzelhaltung) mittels Wilcoxon-Paardifferenzen-Test; zweiseitig; Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$ (*). Die den Stichproben zugrundeliegenden Werte sind in Tabelle A-4 im Anhang IV dargestellt.

LW vs. LW	p-Werte (HR)		p-Werte (SD1)		p-Werte (SD2)	
	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle
21 vs. 22	,0299*	,8886	,0340*	,8886	,4380	,6121
21 vs. 23	,5695	,1614	,6496	,8886	,2775	,5754
21 vs. 24	,4691	,8886	,7564	,4008	,8767	,3270
21 vs. 25	,3259	,4838	,1477	,8886	,0879	,6744
22 vs. 23	,0084*	,6744	,0019*	,4412	,1627	,4838
22 vs. 24	,0200*	,3270	,0084*	,4838	,1788	,1614
22 vs. 25	,0008*	,8886	,0004*	,5754	,0174*	,7794
23 vs. 24	,2775	,7794	,3794	,1614	,5015	,0687
23 vs. 25	,3520	,4008	,2146	,8886	,3520	,4838
24 vs. 25	,0557	,8886	,0411*	,4838	,0495*	,4008

Tab. A-7: Gruppierung vs. Kontrolle - ohne Tier Nr.35 - Haltungsexperiment. Vergleich der Herzschlagparameter HR, SD1 und SD2 von 15 Schweinen (Versuch), die ab der 22. Lebenswoche (LW) in Gruppenhaltung (fettgedruckt) gehalten wurden (LW 20, 21 in Einzelhaltung) und 8 Schweinen (Kontrolle), die von LW 20 bis zur LW 25 einzeln gehalten wurden. Mediane (\tilde{x}) und Standardfehler der Mediane ($s\tilde{x}$). Prüfstatistik: Mann-Whitney U-Test, zweiseitig, U-Werte für Versuch (U_V) und Kontrolle (U_K), Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$. Datengrundlage siehe Tabellen A-2 und A-3 im Anhang II-III.

Parameter	LW	$\tilde{x} \pm s\tilde{x}$ <u>V</u> ersuch (n = 15)	$\tilde{x} \pm s\tilde{x}$ <u>K</u> ontrolle (n = 8)	$U_V : U_K$	U_{DIFF} = $\frac{1}{2} U_V - U_K $	Signifikanz zweiseitig $U_{DIFF} \geq 31$
HR [bpm]	20	108,9 ± 2,4	102,3 ± 2,9	31 : 89	29	nein
	21	106,2 ± 2,6	100,0 ± 1,2	37 : 83	23	nein
	22	112,1 ± 1,5	98,6 ± 3,3	5 : 115	55	ja
	23	105,4 ± 3,0	96,6 ± 2,9	19 : 101	41	ja
	24	103,4 ± 3,8	96,2 ± 1,6	17 : 103	43	ja
	25	95,8 ± 2,6	95,5 ± 2,8	37 : 83	23	nein
SD1 [ms]	20	8,9 ± 0,7	10,2 ± 4,3	64 : 56	4	nein
	21	11,8 ± 1,7	12,5 ± 2,2	69 : 51	9	nein
	22	7,1 ± 1,3	12,5 ± 2,6	100 : 20	40	ja
	23	9,2 ± 1,0	14,6 ± 2,9	93 : 27	33	ja
	24	8,3 ± 1,6	13,6 ± 2,9	104 : 16	44	ja
	25	14,7 ± 2,4	15,2 ± 3,8	80 : 40	20	nein
SD2 [ms]	20	47,5 ± 3,7	38,4 ± 6,2	60 : 60	0	nein
	21	45,8 ± 3,6	45,2 ± 3,0	57 : 63	3	nein
	22	41,4 ± 4,3	47,2 ± 4,0	83 : 37	23	nein
	23	42,9 ± 3,6	44,2 ± 6,5	69 : 51	9	nein
	24	42,1 ± 4,6	49,1 ± 4,1	87 : 33	27	nein
	25	56,6 ± 5,3	53,9 ± 6,7	64 : 56	4	nein

Tab. A-8: Intervall vs. Intervall - HR, SD1 und SD2 - HGET. Statistische Prüfung der Unterschiede zwischen den Parameterwerten der Intervalle in Versuch (HGET: Intervall 15-20, fett gedruckt) und Kontrolle mittels Wilcoxon-Paardifferenzen-Test ($n = 6$); Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$ (*). Die den Stichproben zugrunde liegenden Werte sind in dem jeweils linken Teil der Tabellen A-9a-c (Anhang VII-VIII) dargestellt.

Intervallvergleich	p-Werte (HR)		p-Werte (SD1)		p-Werte (SD2)	
	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle
5-10 vs. 10-15	,0277*	,0277*	,1730	,0464*	,4631	,3455
5-10 vs. 15-20	,0277*	,0277*	,0277*	,0277*	,9165	,3455
5-10 vs. 20-25	,0464*	,0277*	,1159	,0277*	,2489	,4631
5-10 vs. 25-30	,1159	,0277*	,9165	,0277*	,9165	,4631
5-10 vs. 30-35	,0277*	,0277*	,1730	,0464*	,6002	,1730
10-15 vs. 15-20	,0277*	,0464*	,0277*	,0277*	,4631	,3455
10-15 vs. 20-25	,0277*	,1730	,0464*	,1159	,3455	,3455
10-15 vs. 25-30	,9165	,9165	,3455	,1159	,1730	,1730
10-15 vs. 30-35	,0277*	,1730	,1380	,1159	,6002	,2489
15-20 vs. 20-25	,0277*	,9165	,0277*	,4631	,2489	,1159
15-20 vs. 25-30	,0277*	,6002	,0277*	,9165	,4631	,0277*
15-20 vs. 30-35	,0277*	,7532	,0277*	,3455	,9165	,1730
20-25 vs. 25-30	,0277*	,4631	,2489	,3455	,2489	,4631
20-25 vs. 30-35	,0277*	,2489	,0464*	,2489	,4631	,6002
25-30 vs. 30-35	,0277*	,1159	,0277*	,7532	,3455	,6002

Tabellen A-9a-c: Parameterwerte und prozentuale Abweichungen der Parameter HR, SD1 und SD2 in den 5-min-Intervallen bezogen auf das Intervall 10-15 im HGET. Individuelle Mediane der Parameterwerte (rechts) und der prozentualen Abweichungswerte zum Intervall 10-15 (links) aus allen brauchbaren Messungen (jeweilige Anzahl = n) der Tiere 61, 62, 74, 77, 78, 82. Versuch (V): HGET (fett) im Intervall 15-20, Messungen aus 26. und 27. Lebenswoche; Kontrolle (K): unbeeinflusste Messungen aus 20. bis 25. Lebenswoche. Median (\tilde{x}); Standardfehler des Medians ($s\tilde{x}$) und Median-Deviation (\tilde{D}) der Werte der 6 Tiere. Intervalle in min. ab Meßbeginn. Unten: Ergebnisse der Prüfstatistik für den Vergleich der prozentualen Abweichungen vom Intervall 10-15 zwischen Versuch und Kontrolle (V vs. K), Wicoxon-Paardifferenzen-Test, Signifikanzniveau: $\alpha = 0,05$ (*). Ein statistischer Vergleich der individuellen Medianwerte (rechter Teil der Tabelle) ist nicht sinnvoll, da die Werte der beiden Stichproben aus verschiedenen Lebensabschnitten stammen (s.o.). Die Ergebnisse der Prüfstatistik für den Vergleich Intervall vs. Intervall in Versuch und Kontrolle befinden sich in Tab. A-8 im Anh. VI.

Tab. A-9a: HR [bpm]

Tier Nr.	V K	n	Abweichung vom Intervall 10-15 [%]						Individuelle Mediane [bpm]					
			5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
61	V	14	2,3	0	8,4	6,8	2,3	-2,5	99,2	95,5	102,2	102,2	99,3	95,7
62	V	13	3,7	0	7,1	6,9	-4,1	-4,3	97,2	90,1	101,9	96,9	91,5	89,2
74	V	13	1,8	0	21,4	10,1	2,6	-0,9	84,4	89,2	106,6	96,5	91,9	87,0
77	V	17	1,8	0	14,3	3,3	0,3	-2,0	83,4	82,3	93,6	85,3	83,0	82,4
78	V	20	2,1	0	13,2	2,1	-1,6	-2,3	90,6	88,8	101,9	90,7	87,1	87,2
82	V	7	1,8	0	8,8	3,6	-0,9	-4,3	97,2	95,8	105,3	98,5	89,8	89,2
		\tilde{x}	1,9	0	11,0	5,2	-0,3	-2,4	93,9	89,6	102,0	96,7	90,6	88,2
		$s\tilde{x}$	0,6	0	4,1	2,3	1,9	1,0	4,6	3,9	3,8	4,9	4,7	3,8
		\tilde{D}	0,1	0	3,0	1,8	2,0	1,0	4,3	3,4	1,7	3,7	2,4	1,1
61	K	12	4,0	0	-0,1	1,0	0,8	0,5	106,6	102,8	102,3	103,0	100,4	101,8
62	K	15	1,5	0	-1,4	-2,1	-2,7	-2,3	108,5	104,9	104,2	103,3	103,8	102,9
74	K	23	1,2	0	-0,5	-2,1	-3,0	-3,3	104,5	101,7	102,0	99,3	100,5	99,2
77	K	21	3,2	0	-1,5	0,4	1,0	0,0	89,4	88,8	89,2	89,7	88,4	88,9
78	K	27	2,4	0	0,0	-0,6	0,4	-0,3	100,5	95,8	96,8	95,2	97,1	96,8
82	K	22	3,1	0	-1,1	-1,3	0,9	-1,0	103,2	98,4	97,3	97,2	99,0	98,8
		\tilde{x}	2,8	0	-0,8	-0,9	0,6	-0,7	103,9	100,1	99,7	98,3	99,7	99,0
		$s\tilde{x}$	0,8	0	0,4	0,9	1,2	1,1	5,5	4,6	4,3	3,9	4,4	4,0
		\tilde{D}	0,8	0	0,6	1,2	0,3	0,9	3,0	3,5	2,8	3,9	1,7	2,5
Statistik:	n	6	6	6	6	6	6							
V vs. K	p	,600	#	,028*	,028*	,753	,173							

Tab. A-9b: SD1 [ms]

Tier Nr.	V K	n	Abweichung vom Intervall 10-15 [%]						Individuelle Mediane [ms]					
			5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
61	V	14	-12,2	0	-41,0	-29,6	-20,3	13,0	7,6	9,7	4,5	5,7	7,4	10,4
62	V	13	-28,1	0	-46,0	-22,6	38,2	54,3	10,5	17,4	7,8	11,4	19,3	21,2
74	V	13	11,5	0	-25,4	15,8	-4,5	0,0	22,1	21,7	15,9	24,1	20,6	20,3
77	V	17	3,9	0	-26,9	-17,9	-3,1	8,5	16,8	15,2	10,8	13,3	15,4	17,3
78	V	20	-4,0	0	-33,0	-18,8	-1,6	0,6	32,5	34,2	24,0	28,6	31,4	31,9
82	V	7	-14,1	0	-27,1	-20,3	-5,2	-3,8	14,6	13,5	10,3	12,3	17,1	16,6
		\tilde{x}	-8,1	0	-30,1	-19,6	-3,8	4,5	15,7	16,3	10,6	12,8	18,2	18,8
		$s\tilde{x}$	11,4	0	6,0	13,1	16,9	16,8	7,2	7,1	5,6	6,6	6,9	6,2
		\tilde{D}	9,0	0	3,9	2,3	1,8	6,4	5,8	4,1	4,1	4,3	2,6	2,3
61	K	12	-8,7	0	0,5	-8,0	-3,6	-9,5	6,9	9,0	8,2	7,9	8,2	8,1
62	K	15	-6,7	0	16,1	10,0	27,7	30,1	7,2	9,0	9,0	10,4	11,3	10,8
74	K	23	-1,8	0	6,4	12,4	3,7	19,2	16,8	18,7	20,7	21,0	18,5	19,9
77	K	21	-8,2	0	8,8	5,0	8,1	9,1	12,7	13,6	14,8	14,8	13,7	15,1
78	K	27	-6,7	0	3,3	1,6	-1,7	1,5	15,1	17,0	16,3	16,2	15,9	16,7
82	K	22	0,4	0	5,3	10,5	20,6	10,5	11,5	12,4	11,2	14,9	13,5	13,9
		\tilde{x}	-6,7	0	5,9	7,5	5,9	9,8	12,1	13,0	13,0	14,9	13,6	14,5
		$s\tilde{x}$	2,6	0	4,5	5,9	9,0	11,4	2,9	2,8	3,6	3,8	3,0	3,4
		\tilde{D}	1,8	0	2,8	3,9	8,6	8,8	3,9	4,0	3,7	2,9	2,3	3,0
Statistik:	n		6	6	6	6	6	6						
V vs. K	p		,600	#	,028*	,046*	,173	,917						

Tab.: A-9c: SD2 [ms]

Tier Nr.	V K	n	Abweichung vom Intervall 10-15 [%]						Individuelle Mediane [ms]					
			5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
61	V	14	5,9	0	-5,5	2,3	-18,0	-10,0	45,4	42,1	40,8	44,0	40,2	43,6
62	V	13	-5,6	0	-18,3	13,2	-4,9	7,9	57,2	52,0	42,5	53,6	51,9	51,9
74	V	13	-14,5	0	-4,7	7,7	-10,9	-14,3	53,3	74,2	70,6	85,3	65,3	60,9
77	V	17	5,8	0	5,8	7,7	7,4	-5,0	61,2	58,9	57,5	59,2	54,7	49,4
78	V	20	-0,5	0	-7,8	-14,0	-9,9	0,4	89,9	82,0	80,3	78,7	79,0	87,1
82	V	7	-19,6	0	6,1	0,2	2,8	8,9	40,7	48,8	54,1	65,7	58,4	53,7
		\tilde{x}	-3,1	0	-5,1	5,0	-7,4	-2,3	55,3	55,5	55,8	62,5	56,6	52,8
		$s\tilde{x}$	7,4	0	7,0	7,9	7,3	6,7	14,2	11,5	11,4	11,9	11,2	12,6
		\tilde{D}	8,9	0	6,8	3,8	6,8	8,9	7,9	10,1	14,1	12,5	6,7	5,8
61	K	12	4,9	0	-0,8	6,8	0,0	14,3	37,6	37,5	39,0	46,9	38,6	43,9
62	K	15	-1,3	0	-0,7	11,0	17,3	7,3	42,7	41,4	41,1	42,4	43,2	39,1
74	K	23	-5,9	0	-11,1	-14,8	-9,2	-11,2	54,2	59,0	51,1	51,4	52,1	52,5
77	K	21	2,6	0	14,7	12,4	16,4	6,6	48,0	44,2	42,6	51,7	67,3	47,6
78	K	27	7,8	0	-1,9	3,2	8,2	9,7	58,6	55,1	58,4	56,8	59,5	58,6
82	K	22	2,2	0	-10,0	4,1	3,6	2,4	43,5	41,3	36,5	45,3	39,1	45,4
		\tilde{x}	2,4	0	-1,3	5,4	5,9	6,9	45,7	42,8	41,9	49,2	47,7	46,5
		$s\tilde{x}$	4,0	0	7,5	7,9	7,6	7,4	6,1	6,2	6,3	4,2	8,3	3,5
		\tilde{D}	3,1	0	4,6	3,9	8,2	3,6	5,6	3,4	4,2	3,2	9,1	4,3
Statistik:	n		6	6	6	6	6	6						
V vs. K	p		,116	#	,600	,463	,028*	,173						

Tab. A-10: Individueller Vergleich des Herzschlagparameters HR vor (Vorphase) und während experimentellen Groomings (HGET) bei 16 Schweinen. Median (\tilde{x}), Standardfehler des Medians ($s\tilde{x}$) und Median-Deviation (\tilde{D}) aus allen brauchbaren Messungen jedes Schweines (jeweilige Anzahl = n) für die HR-Werte in der Vorphase, die HR-Werte im HGET, die absoluten Differenzen ($HR\{HGET\} - HR\{Vorphase\}$) und die relativen Differenzen ($(HR\{HGET\} - HR\{Vorphase\}) * 100 / HR\{Vorphase\}$). Datengrundlage für 'alle' (letzte Zeile) waren die darüber dargestellten Median-Werte der 16 Schweine. Prüfstatistik: p-Werte aus Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, zweiseitig, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$, signifikante p-Werte sind mit * gekennzeichnet.

HR	Vorphase			HGET			Absolute			Relative			Statistik	
	5-min-Intervall: 10. - 15. Minute			5-min-Intervall: 15. - 20. Minute			Intervall- Differenz			Intervall- Differenz			n	p
Tier Nr.	\tilde{x} [bpm]	$s\tilde{x}$ [bpm]	\tilde{D} [bpm]	\tilde{x} [bpm]	$s\tilde{x}$ [bpm]	\tilde{D} [bpm]	\tilde{x} [bpm]	$s\tilde{x}$ [bpm]	\tilde{D} [bpm]	\tilde{x} [%]	$s\tilde{x}$ [%]	\tilde{D} [%]		($\alpha = 0,05$)
31	89,0	6,2	2,8	110,5	3,3	6,0	18,1	2,3	4,7	20,4	3,2	5,6	7	0,0180*
33	94,2	2,3	3,3	105,9	2,1	3,5	13,6	1,6	2,4	14,8	1,6	2,4	8	0,0118*
41	103,1	5,0	3,5	107,3	3,5	5,3	9,0	2,6	2,2	8,6	2,7	3,1	7	0,0180*
43	94,4	2,8	2,8	101,7	3,2	3,8	6,7	4,3	4,4	6,7	4,8	5,2	8	0,0357*
44	100,9	3,2	3,5	109,0	3,7	5,1	8,5	3,7	5,2	8,0	3,6	5,6	8	0,0173*
45	80,7	5,2	4,6	91,0	7,0	7,6	9,3	4,6	4,8	11,0	6,4	4,9	6	0,0277*
46	90,0	3,1	4,5	93,8	2,1	3,0	9,0	3,3	2,3	10,8	4,3	3,7	7	0,0630
51	107,8	3,7	3,5	114,3	3,2	3,0	7,3	0,6	0,7	6,7	0,6	0,9	8	0,0929
61	100,2	3,9	9,0	104,9	3,0	8,0	7,7	0,6	1,6	8,2	0,6	2,0	21	0,0001*
62	91,9	2,3	4,5	100,2	2,5	3,7	5,6	1,3	2,8	6,7	1,5	3,6	18	0,0002*
72	92,1	1,9	1,8	100,0	3,6	3,6	9,0	4,9	6,8	9,9	5,4	7,6	6	0,0277*
74	88,4	2,2	3,5	106,4	2,8	6,2	18,8	2,0	3,7	21,7	2,7	4,6	14	0,0010*
77	82,4	1,9	3,9	95,7	2,2	4,8	11,9	0,6	1,7	14,5	0,5	2,0	21	0,0001*
78	88,8	2,5	6,1	101,9	2,0	4,7	11,3	1,8	3,8	13,2	2,7	5,6	20	0,0001*
82	95,8	2,8	3,4	105,3	2,9	7,9	8,6	1,0	1,9	8,8	1,1	1,6	7	0,0180*
91	85,9	4,4	5,8	93,0	6,0	6,3	7,5	0,9	1,1	8,7	1,2	1,7	8	0,0117*
alle	92,0	2,0	3,7	103,4	1,8	3,7	9,0	1,1	1,6	9,4	1,4	2,1	16	0,0004*

Tab. A-11: Individueller Vergleich des Herzschlagparameters SD1 vor (Vorphase) und während experimentellen Groomings (HGET) bei 16 Schweinen. Median (\tilde{x}), Standardfehler des Medians ($s\tilde{x}$) und Median-Deviation (\tilde{D}) aus allen brauchbaren Messungen jedes Schweines (jeweilige Anzahl = n) für die SD1-Werte in der Vorphase, die SD1-Werte im HGET, die absoluten Differenzen ($SD1\{HGET\} - SD1\{Vorphase\}$) und die relativen Differenzen ($(SD1\{HGET\} - SD1\{Vorphase\}) * 100 / SD1\{Vorphase\}$). Datengrundlage für 'alle' (letzte Zeile) waren die darüber dargestellten Median-Werte der 16 Schweine. Prüfstatistik: p-Werte aus Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, zweiseitig, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ (*), signifikante p-Werte sind mit * gekennzeichnet.

SD1	Vorphase			HGET			Absolute			Relative			Statistik	
	5-min-Intervall: 10. - 15. Minute			5-min-Intervall: 15. - 20. Minute			Intervall- Differenz			Intervall- Differenz			n	p
Tier Nr.	\tilde{x} [ms]	$s\tilde{x}$ [ms]	\tilde{D} [ms]	\tilde{x} [ms]	$s\tilde{x}$ [ms]	\tilde{D} [ms]	\tilde{x} [ms]	$s\tilde{x}$ [ms]	\tilde{D} [ms]	\tilde{x} [%]	$s\tilde{x}$ [%]	\tilde{D} [%]		($\alpha = 0,05$)
31	31,2	5,1	8,9	11,2	1,0	2,1	-12,5	5,3	8,4	-53,6	10,9	15,2	7	0,0180*
33	12,8	2,9	3,2	7,6	1,3	1,9	-5,4	1,7	1,5	-42,2	5,2	7,7	8	0,0117*
41	10,5	5,0	1,5	10,0	2,2	3,2	-1,3	1,3	0,9	-17,9	12,8	13,1	7	0,0180*
43	26,2	7,6	9,4	13,5	5,5	7,7	-7,8	2,3	2,2	-27,0	8,0	9,5	8	0,0117*
44	14,7	2,0	2,4	9,8	1,0	1,6	-4,2	1,2	1,2	-35,7	7,9	9,5	8	0,0117*
45	71,0	17,9	10,0	30,9	18,4	8,5	-26,1	14,1	14,6	-41,8	16,9	20,1	6	0,0277*
46	27,8	2,5	6,3	16,9	1,3	0,8	-7,9	2,6	4,3	-27,7	6,2	9,7	7	0,0180*
51	10,9	1,0	0,9	7,9	1,0	1,4	-2,0	0,7	0,3	-18,7	6,3	3,6	8	0,0117*
61	7,9	2,3	2,9	4,2	0,5	0,8	-3,4	1,6	1,9	-46,0	6,6	14,0	21	0,0001*
62	16,8	2,9	6,6	7,9	1,3	2,1	-9,5	2,0	5,4	-48,3	7,1	14,5	18	0,0003*
72	24,9	5,0	5,4	13,1	0,9	0,3	-11,6	4,8	5,2	-44,6	9,3	11,1	6	0,0277*
74	20,9	2,6	2,8	16,5	2,8	5,0	-7,5	2,4	3,6	-24,8	9,3	16,1	14	0,0029*
77	15,2	0,8	2,2	10,3	0,8	1,7	-4,7	1,0	2,8	-30,9	5,9	15,7	21	0,0001*
78	34,2	3,3	7,4	24,0	1,5	4,4	-10,0	1,4	7,7	-33,0	5,4	13,0	20	0,0003*
82	13,5	2,2	0,3	10,3	2,1	2,4	-5,4	1,0	2,4	-27,1	7,6	13,5	7	0,0180*
91	12,5	3,8	5,1	8,4	2,9	1,4	-3,9	2,3	3,7	-29,8	12,7	16,7	8	0,0251*
alle	16,0	3,9	5,3	10,3	1,5	2,6	-6,5	1,5	2,8	-31,9	4,3	8,5	16	0,0004*

Tab. A-12: Individueller Vergleich des Herzschlagparameters SD2 vor (Vorphase) und während experimentellen Groomings (HGET) bei 16 Schweinen. Median (\tilde{x}), Standardfehler des Medians ($s\tilde{x}$) und Median-Deviation (\tilde{D}) aus allen brauchbaren Messungen jedes Schweines (jeweilige Anzahl = n) für die SD2-Werte in der Vorphase, die SD2-Werte im HGET, die absoluten Differenzen ($SD2\{HGET\} - SD2\{Vorphase\}$) und die relativen Differenzen ($(SD2\{HGET\} - SD2\{Vorphase\}) * 100 / SD2\{Vorphase\}$). Datengrundlage für 'alle' (letzte Zeile) waren die darüber dargestellten Median-Werte der 16 Schweine. Prüfstatistik: p-Werte aus Wilcoxon-Paardifferenzen-Test, zweiseitig, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$, signifikante p-Werte sind mit * gekennzeichnet.

SD2	Vorphase			HGET			Absolute			Relative			Statistik	
	5-min-Intervall: 10. - 15. Minute			5-min-Intervall: 15. - 20. Minute			Intervall- Differenz			Intervall- Differenz				
Tier Nr.	\tilde{x} [ms]	$s\tilde{x}$ [ms]	\tilde{D} [ms]	\tilde{x} [ms]	$s\tilde{x}$ [ms]	\tilde{D} [ms]	\tilde{x} [ms]	$s\tilde{x}$ [ms]	\tilde{D} [ms]	\tilde{x} [%]	$s\tilde{x}$ [%]	\tilde{D} [%]	n	p ($\alpha = 0,05$)
31	78,3	10,5	13,5	69,0	8,5	9,1	-9,3	3,5	3,6	-11,9	3,9	5,4	7	0,0425*
33	54,4	5,9	5,7	55,2	5,9	7,4	5,6	9,3	9,8	10,6	15,7	19,1	8	0,7794
41	45,5	4,0	4,8	34,9	5,5	9,2	-10,6	3,1	5,9	-23,3	8,4	10,3	7	0,0180*
43	48,4	9,4	11,6	49,9	9,2	14,6	-0,5	7,2	11,4	-1,2	22,0	24,1	8	0,8886
44	58,4	4,9	7,8	50,3	2,6	3,4	-7,8	2,7	3,2	-13,8	4,2	5,1	8	0,0173*
45	105,7	16,7	14,8	96,9	29,9	20,6	5,3	28,9	26,4	5,2	26,4	28,1	6	0,7532
46	105,9	10,9	78,1	87,5	8,6	70,6	-11,8	13,9	15,8	-13,5	11,8	17,0	7	0,2367
51	62,0	7,9	51,1	39,9	1,6	32,0	-21,8	8,7	19,8	-32,2	10,9	18,0	8	0,0173*
61	37,9	5,0	30,0	40,0	4,8	35,8	-1,3	3,1	6,8	-3,9	7,6	42,1	21	0,9861
62	48,9	5,3	32,1	44,5	4,6	36,6	-9,5	2,4	7,4	-20,4	5,4	27,9	18	0,0074*
72	68,7	9,2	43,8	68,4	13,2	55,3	-1,8	7,8	9,8	-2,2	13,5	42,4	6	0,3455
74	64,6	10,1	43,7	70,7	6,1	54,2	-2,2	10,1	15,2	-2,9	13,9	21,9	14	0,9750
77	58,9	5,7	43,7	57,9	4,5	47,6	3,9	5,2	13,1	6,2	10,8	37,1	21	0,4761
78	82,0	5,7	47,8	80,3	4,8	56,3	-7,8	7,0	14,0	-7,8	6,9	25,2	20	0,0383*
82	48,8	3,9	35,3	54,1	9,0	43,8	3,0	10,0	8,4	6,1	19,4	33,2	7	0,2367
91	41,3	9,9	28,8	47,9	8,8	39,5	12,0	9,1	15,9	42,9	20,1	72,7	8	0,0687
alle	58,6	5,7	10,2	54,6	6,1	14,1	-2,0	3,6	6,6	-3,4	5,4	9,6	16	0,1337

Tab. A-13: Statistische Prüfung auf langfristige Einflüsse des HGET-Experiments. Statistische Prüfung der Unterschiede der HR-, SD1- und SD2-Wochen-Median-Werte zwischen den Lebenswochen (LW) für die absoluten Werte (linke Hauptspalte) und deren Änderungen zur Vorwoche (rechte Hauptspalte) mittels Wilcoxon-Paardifferenzen-Test; zweiseitig, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ (*). Die den Stichproben zugrundeliegenden Werte befinden sich in den Tabellen A-14b (HR), A-14c (SD1) und A-14d (SD2) im Anhang XII-XIII.

Datengrundlage		Absolute Werte			Änderung zur Vorwoche		
Parameter		HR	SD1	SD2	HR	SD1	SD2
LW vs. LW	n	p <	p <	p <	p <	p <	p <
20 vs. 21	8	0,2076	0,6745	0,7795	-	-	-
20 vs. 22	8	0,1615	0,6745	0,8887	-	-	-
21 vs. 22	8	0,4009	0,7795	0,6745	0,5755	0,8887	0,4009
20 vs. 23	8	0,0688	0,7795	0,4009	-	-	-
21 vs. 23	8	0,0930	0,0688	0,3270	0,8887	0,1615	0,7795
22 vs. 23	8	0,0173 *	0,0118 *	0,4009	0,4009	0,4009	0,8887
20 vs. 24	8	0,0173 *	0,4839	0,0357	-	-	-
21 vs. 24	8	0,0173 *	0,0930	0,0357	0,8887	0,4839	0,6745
22 vs. 24	8	0,0118 *	0,0357 *	0,0500 *	0,0688	0,3270	0,0930
23 vs. 24	8	0,0118 *	0,2076	0,0251 *	0,8887	0,7795	0,8887
20 vs. 25	8	0,0118 *	0,3628	0,2627	-	-	-
21 vs. 25	8	0,0173 *	0,1235	0,1615	0,5755	0,7795	0,6745
22 vs. 25	8	0,0173 *	0,0118 *	0,0930	0,6745	0,4009	1,0000
23 vs. 25	8	0,0251 *	0,1235	0,2076	0,5755	0,8887	0,4839
24 vs. 25	8	0,2076	0,6745	1,0000	0,4839	0,6745	0,4009
20 vs. 26	8	0,0118 *	0,5755	0,2627	-	-	-
21 vs. 26	8	0,0173 *	0,0930	0,0930	0,4009	0,2076	0,7795
22 vs. 26	8	0,0118 *	0,0251 *	0,2076	0,5755	0,5755	0,8887
23 vs. 26	8	0,0173 *	0,1235	0,4009	0,4839	0,3270	0,5755
24 vs. 26	8	0,0930	0,6745	0,4839	0,1235	0,8887	0,0688
25 vs. 26	8	0,1235	0,6745	0,5755	0,7795	0,8887	0,7795
20 vs. 27	8	0,0118 *	0,0173 *	0,0118 *	-	-	-
21 vs. 27	8	0,0118 *	0,0118 *	0,0118 *	0,0500 *	0,0173 *	0,0118 *
22 vs. 27	8	0,0118 *	0,0118 *	0,0118 *	0,0118 *	0,0173 *	0,0118 *
23 vs. 27	8	0,0118 *	0,0118 *	0,0118 *	0,0357 *	0,0251 *	0,0118 *
24 vs. 27	8	0,0118 *	0,0118 *	0,0118 *	0,0118 *	0,0251 *	0,0118 *
25 vs. 27	8	0,0118 *	0,0118 *	0,0118 *	0,0500 *	0,0251 *	0,0118 *
26 vs. 27	8	0,0118 *	0,0118 *	0,0118 *	0,0357 *	0,0251 *	0,0118 *

Tabellen A-14a-d: Langfristige Einflüsse des HGET-Experiments auf die kardiologischen Wochenwerte. Berücksichtigt wurden nur die Intervalle 5.-10. und 10.-15. min. der einzelnen Messungen aus allen Lebenswochen (LW), da so die kardiologischen Parameter durch das HGET-Intervall (15.-20. min., nur LW26+27) nicht direkt beeinflusst wurden. HGET-Experimente wurden in LW26 und LW27 durchgeführt (je Tier 3 HGET pro Tag an 4 Tagen pro Woche); keine Beeinflussung in LW20-25 (Kontrolltiere aus Haltungsexperiment). Dargestellt sind die individuellen Wochen-Mediane der Parameterwerte von acht Schweinen und die Änderung der Medianwerte zur jeweiligen Vorwoche (Diff. $LW_n - LW_{n-1}$). Jeweils im unteren Tabellenteil: Median (\tilde{x}), Standardfehler des Medians ($s\tilde{x}$) und Median-Deviation (\tilde{D}) aus den entsprechenden Wochen-Werten der acht Schweine.

Tab. A-14a: Anzahl valider 5-min-Intervalle, aus denen die Wochenmediane für die Parameter HR, SD1 und SD2 (Tab. A-14b-d) berechnet wurden.

	LW20	LW21		LW22		LW23		LW24		LW25		LW26		LW27	
Tier		Diff.		Diff.											
		21-20		22-21		23-22		24-23		25-24		26-25		27-26	
61	11	-	17	-	16	-	10	-	13	-	17	-	24	-	16
62	13	-	16	-	16	-	11	-	11	-	13	-	17	-	18
72	13	-	18	-	16	-	14	-	16	-	18	-	8	-	4
74	14	-	17	-	12	-	12	-	14	-	17	-	12	-	16
77	12	-	16	-	15	-	13	-	18	-	13	-	22	-	19
78	14	-	18	-	18	-	14	-	18	-	13	-	24	-	14
82	10	-	14	-	14	-	10	-	16	-	18	-	4	-	10
91	14	-	17	-	16	-	14	-	16	-	17	-	8	-	8
\tilde{x}	13,0	-	17,0	-	16,0	-	12,5	-	16,0	-	17,0	-	14,5	-	15,0
$s\tilde{x}$	0,9	-	0,6	-	0,6	-	1,2	-	1,4	-	1,4	-	5,2	-	2,9
\tilde{D}	1,0	-	1,0	-	0,5	-	1,0	-	2,0	-	1,0	-	7,0	-	3,5

Tab. A-14b: HR [bpm].

	LW20	LW21		LW22		LW23		LW24		LW25		LW26		LW27	
Tier		Diff.		Diff.											
		21-20		22-21		23-22		24-23		25-24		26-25		27-26	
61	109,7	-6,6	103,1	2,8	105,9	-2,4	103,6	-4,2	99,3	7,4	106,8	-2,0	104,7	-16,4	88,3
62	124,0	-10,9	113,1	-4,4	108,7	-1,4	107,3	-6,0	101,4	0,9	102,2	-2,7	99,5	-11,4	88,1
72	99,5	-0,4	99,1	-1,3	97,8	-1,0	96,9	-1,7	95,2	-1,4	93,8	-1,5	92,3	-1,9	90,4
74	97,9	6,6	104,5	-0,1	104,4	0,8	105,3	-5,3	100,0	-4,5	95,5	-4,8	90,7	-6,4	84,3
77	105,4	-5,4	100,0	-3,0	96,9	-5,0	91,9	-2,4	89,5	-1,7	87,8	0,3	88,2	-5,5	82,6
78	103,1	-1,3	101,8	-2,1	99,7	-3,1	96,5	-0,8	95,8	-3,6	92,2	2,0	94,1	-14,1	80,1
82	108,9	-8,5	100,4	7,8	108,2	-7,5	100,7	-0,1	100,6	-4,6	96,0	-4,0	92,0	-0,5	91,6
91	100,9	4,4	105,3	-3,0	102,3	-2,4	99,9	-4,5	95,4	-4,9	90,5	0,1	90,6	-11,5	79,2
\tilde{x}	104,2	-3,4	102,4	-1,7	103,4	-2,4	100,3	-3,3	97,6	-2,6	94,7	-1,8	92,2	-8,9	86,2
$s\tilde{x}$	2,9	3,7	1,5	1,7	3,0	1,2	2,5	1,3	1,6	1,6	3,4	1,2	2,6	3,5	3,0
\tilde{D}	4,7	4,2	2,3	1,5	4,3	1,2	3,6	1,8	2,4	1,9	3,4	2,0	1,7	4,3	3,9

Tab. A-14c: SD1 [ms].

	LW20		LW21		LW22		LW23		LW24		LW25		LW26		LW27	
Tier		Diff.		Diff.		Diff.										
		21-20		22-21		23-22		24-23		25-24		26-25		27-26		
61	6,9	2,7	9,6	-3,7	5,9	4,4	10,3	-1,7	8,6	-3,6	5,0	0,4	5,4	13,5	18,9	
62	4,0	1,4	5,4	2,2	7,5	0,8	8,3	1,6	9,9	-1,0	8,9	1,5	10,4	10,9	21,3	
72	27,4	-9,9	17,6	1,3	18,8	0,3	19,2	2,7	21,9	0,6	22,5	-3,0	19,6	10,5	30,0	
74	25,3	-6,0	19,3	0,2	19,5	0,3	19,8	-1,7	18,1	5,1	23,2	-1,9	21,4	2,5	23,9	
77	8,9	1,8	10,7	1,6	12,2	0,3	12,5	0,1	12,6	0,5	13,1	2,8	15,9	0,9	16,8	
78	13,2	1,4	14,6	1,7	16,2	2,0	18,2	2,0	20,2	5,3	25,4	4,8	30,2	21,9	52,0	
82	10,1	0,2	10,3	-2,2	8,2	3,1	11,3	2,5	13,7	-1,5	12,2	0,5	12,7	1,4	14,1	
91	8,4	1,6	9,9	-1,8	8,1	0,1	8,2	1,3	9,5	0,1	9,5	-1,3	8,3	8,7	17,0	
\tilde{x}	9,5	1,4	10,5	0,7	10,2	0,6	11,9	1,4	13,1	0,3	12,7	0,4	14,3	9,6	20,1	
$s\tilde{x}$	5,3	2,3	2,3	1,1	3,3	0,8	3,1	1,2	3,1	1,9	4,1	1,3	3,8	3,5	3,8	
\tilde{D}	3,2	0,8	2,5	1,2	3,5	0,4	3,6	1,1	4,1	1,6	5,7	2,0	5,7	5,5	3,5	

Tab. A-14d: SD2 [ms].

	LW20		LW21		LW22		LW23		LW24		LW25		LW26		LW27	
Tier		Diff.		Diff.		Diff.										
		21-20		22-21		23-22		24-23		25-24		26-25		27-26		
61	32,5	11,5	44,0	-2,6	41,5	-6,9	34,6	7,4	41,9	-15,8	26,1	8,8	34,9	14,6	49,5	
62	28,0	8,1	36,1	0,4	36,6	-3,1	33,5	8,9	42,4	-1,0	41,4	4,3	45,7	12,3	58,0	
72	73,4	-22,2	51,3	6,9	58,1	5,4	63,5	11,7	75,1	-11,2	64,0	-5,8	58,2	35,9	94,1	
74	58,1	-10,2	47,9	-7,1	40,9	16,2	57,0	0,3	57,3	1,9	59,1	-6,9	52,2	16,4	68,6	
77	31,6	13,0	44,5	10,0	54,5	-6,5	48,0	1,7	49,7	5,1	54,7	-5,8	48,9	13,4	62,3	
78	48,1	2,4	50,4	-2,7	47,7	9,3	57,1	0,7	57,8	19,4	77,1	3,0	80,1	20,0	100,1	
82	38,4	0,0	38,4	-1,4	37,0	-3,8	33,2	3,6	36,8	0,8	37,5	2,7	40,2	10,3	50,4	
91	35,2	-1,4	33,8	-3,0	30,8	9,5	40,3	-0,6	39,7	-0,8	38,9	-4,4	34,6	9,5	44,1	
\tilde{x}	36,8	1,2	44,3	-2,0	41,2	1,2	44,2	2,6	46,0	0,0	48,1	-0,9	47,3	14,0	60,1	
$s\tilde{x}$	8,7	6,2	4,8	2,8	6,8	4,6	6,9	2,5	6,1	4,7	7,6	2,9	6,8	2,8	14,4	
\tilde{D}	7,0	8,7	6,0	1,7	5,6	7,9	10,8	2,8	7,8	3,5	10,8	4,9	9,0	3,1	10,2	

Tab. A-15: Gewichtsentwicklung der Versuchs- und Kontrolltiere im Haltungsexperiment.
 (1) links: Gewichte [kg] der Versuchstiere in den einzelnen Lebenswochen (LW); Wochentag der Messung: Mittwoch; LW11: Tag der Aufstallung.

(2) rechts: Durchschnittliche tägliche Gewichtszunahmen [kg]; aus (1): $(LW_n - LW_{n-1})/7$.

Grau markierte Werte: Gruppenhaltung der Tiere mit gleicher Gruppennummer; ohne Markierung: Einzelhaltung. Randbedingungen: Vo = ohne und Vm = mit zusätzlichen Manipulationsmöglichkeiten; K = Kontrolle.

Unten: Median (\tilde{x}), Standardfehler des Medians ($s_{\tilde{x}}$) und Median-Deviation (\tilde{D}); Statistik: Versuch vs. Kontrolle, Mann-Whitney U-Test, $U_{DIFF} = 1/2 |U_V - U_K|$, Signifikanz (zweiseitig): $U_{DIFF} \geq 33$. Die Ergebnisse der Prüfstatistik für den Vergleich LW vs. LW in Versuch und Kontrolle befinden sich in Tab. A-16 im Anh. XV.

Tier Nr.	Gruppe Nr.	Randbedingg	Gewicht [kg] in LW							Durchschnittliche tägliche Gewichtszunahme [kg] in LW				
			11	20	21	22	23	24	25	21	22	23	24	25
37	1	Vo	22,2	75,6	81,8	89,0	91,2	94,6	102,4	0,9	1,0	0,3	0,5	1,1
39	1	Vo	27,8	65,2	72,2	77,8	83,2	89,2	95,0	1,0	0,8	0,8	0,9	0,8
52	1	Vo	28,0	81,0	89,6	95,0	101,6	109,6	114,4	1,2	0,8	0,9	1,1	0,7
53	1	Vo	29,0	74,4	82,2	87,6	93,4	98,8	93,8	1,1	0,8	0,8	0,8	-0,7
35	2	Vo	32,4	82,4	90,4	96,0	101,4	107,2	115,0	1,1	0,8	0,8	0,8	1,1
38	2	Vo	26,8	73,2	80,0	86,6	89,8	96,8	101,8	1,0	0,9	0,5	1,0	0,7
48	2	Vo	34,8	78,8	88,0	92,0	97,2	101,2	106,0	1,3	0,6	0,7	0,6	0,7
54	2	Vo	22,0	68,8	79,0	88,6	93,6	100,0	106,2	1,5	1,4	0,7	0,9	0,9
33	3	Vm	25,0	71,6	80,4	84,8	92,8	98,2	103,8	1,3	0,6	1,1	0,8	0,8
41	3	Vm	27,2	82,4	90,4	95,4	105,6	110,0	118,0	1,1	0,7	1,5	0,6	1,1
43	3	Vm	28,2	81,6	87,0	94,8	101,4	108,2	114,4	0,8	1,1	0,9	1,0	0,9
45	3	Vm	23,6	78,4	90,0	95,2	104,6	112,2	118,2	1,7	0,7	1,3	1,1	0,9
31	4	Vm	28,4	81,2	84,0	94,6	99,4	108,2	111,2	0,4	1,5	0,7	1,3	0,4
44	4	Vm	25,0	69,2	76,2	80,4	85,4	93,0	99,0	1,0	0,6	0,7	1,1	0,9
46	4	Vm	33,8	83,8	90,8	89,6	100,6	105,8	112,2	1,0	-0,2	1,6	0,7	0,9
51	4	Vm	27,2	71,0	79,8	86,4	93,6	100,4	107,0	1,3	0,9	1,0	1,0	0,9
61	-	K	27,6	74,1	80,4	85,3	90,9	95,6	102,9	0,9	0,7	0,8	0,7	1,0
62	-	K	28,0	80,1	87,2	93,0	99,4	104,8	110,8	1,0	0,8	0,9	0,8	0,9
72	-	K	28,2	84,2	92,6	100,5	108,3	115,0	123,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,2
74	-	K	28,1	78,9	86,5	93,7	99,4	105,4	112,5	1,1	1,0	0,8	0,9	1,0
77	-	K	30,9	76,5	82,7	87,5	92,2	96,0	99,3	0,9	0,7	0,7	0,5	0,5
78	-	K	24,2	71,1	80,7	88,5	94,9	99,5	104,5	1,4	1,1	0,9	0,7	0,7
82	-	K	25,2	75,0	81,7	86,8	92,0	98,8	105,4	1,0	0,7	0,7	1,0	0,9
91	-	K	26,8	77,0	82,6	89,1	95,0	101,4	107,4	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9
Versuch		\tilde{x}	27,5	77,0	83,1	89,3	95,4	100,8	106,6	1,1	0,8	0,8	0,9	0,9
alle Vo+m		$s_{\tilde{x}}$	1,0	2,8	2,8	2,4	2,5	2,9	3,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
(n = 16)		\tilde{D}	2,0	5,0	4,5	4,9	5,4	6,3	6,6	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Kontrolle		\tilde{x}	27,4	76,7	82,7	88,8	94,9	100,5	106,4	1,0	0,9	0,8	0,8	0,9
alle K		$s_{\tilde{x}}$	0,9	1,7	1,9	2,0	2,1	2,7	2,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
(n = 8)		\tilde{D}	0,8	2,4	2,1	2,7	3,4	4,4	3,9	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Statistik: U _V : U _K			66:62	69:59	69:59	63:65	61:67	61:67	65:63	49:79	73:55	63:65	47:81	76:52
V vs. K		U _{DIFF}	2	5	5	1	3	3	1	15	9	1	17	12
		Signifikanz	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Alle Tiere		\tilde{x}	27,7	76,7	82,7	89,0	94,9	100,8	106,6	1,0	0,8	0,8	0,9	0,9
Vo+Vm+K		$s_{\tilde{x}}$	0,4	1,7	1,9	1,8	1,9	2,0	2,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
(n = 24)		\tilde{D}	1,1	4,4	3,7	3,9	4,5	4,9	5,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1

Tab. A-16: Gewichtsentwicklung der Versuchs- und Kontrolltiere im Haltungsexperiment - Statistischer Vergleich der Lebenswochen. Statistische Prüfung der Unterschiede der Wochen-Median-Werte zwischen den Lebenswochen (LW) für die absoluten Gewichte (jeweils links) und den durchschnittlichen täglichen Gewichtszunahmen (jeweils rechts) mittels Wilcoxon-Paardifferenzen-Test; zweiseitig, Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ (*). Die den Stichproben zugrundeliegenden Werte befinden sich in Tabelle A-15, Anhang XV.

LW vs. LW	n	p-Werte Versuch		n	p-Werte Kontrolle	
		Gewicht	tägl. Änd.		Gewicht	tägl. Änd.
20 vs. 21	16	,0004*	-----	8	,0117*	-----
20 vs. 22	16	,0004*	-----	8	,0117*	-----
20 vs. 23	16	,0004*	-----	8	,0117*	-----
20 vs. 24	16	,0004*	-----	8	,0117*	-----
20 vs. 25	16	,0004*	-----	8	,0117*	-----
21 vs. 22	16	,0005*	,0120*	8	,0117*	,0173*
21 vs. 23	16	,0004*	,0557	8	,0117*	,0180*
21 vs. 24	16	,0004*	,0268*	8	,0117*	,0280*
21 vs. 25	16	,0004*	,0058*	8	,0117*	,1083
22 vs. 23	16	,0004*	,7798	8	,0117*	,4185
22 vs. 24	16	,0004*	,4421	8	,0117*	,3452
22 vs. 25	16	,0004*	,9750	8	,0117*	,8339
23 vs. 24	16	,0004*	,6247	8	,0117*	,4008
23 vs. 25	16	,0004*	,2787	8	,0117*	,4990
24 vs. 25	16	,0010*	,3627	8	,0117*	,1775

Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Halle (Saale), den 1.10.1999

Lebenslauf

Sven Hansen

geboren am 13. Juli 1964 in Berlin

Eltern: Rolf Hansen und Ingrid Hansen, geb. Kampe

Schulbildung:

Grundschule von 1970 bis 1976 in Berlin

Gymnasium von 1976 bis 1980 in Berlin

Oberstufe von 1980 bis 1983 im Oberstufenzentrum für Chemie, Physik und Biologie in Berlin mit dem Abschluß der Allgemeinen Hochschulreife (Abitur)

Hochschulbildung:

Studium der Werkstoffwissenschaften von 1983 bis 1987 an der Technischen Universität Berlin (ohne Abschluß)

Studium der Biologie von 1987 bis 1994 an der Freien Universität Berlin mit dem Abschluß als Diplom-Biologe (Thema der Diplomarbeit: „Veränderungen von Verhalten und Herzfrequenz als Anpassungsvorgänge bei wiederholtem Futterentzug von Hausschweinen (*Sus scrofa domestica*)“)

Promotion:

Promotionsstudium der Agrarwissenschaft von 1995 bis 1999 an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg mit einem dreijährigen Promotionsstipendium des Landes Sachsen-Anhalt zur Durchführung der vorliegenden Arbeit.

Auswahl weiterer wissenschaftlicher Tätigkeiten:

1989/90: Wissenschaftliche Mitarbeit in einer Arbeitsgruppe an der Freien Universität Berlin zum Schutz der tropischen Regenwälder. Aus dieser Arbeit entstanden u.a. eine Vortragsreihe und eine Ausstellung, sowie ein Rundfunkhörspiel und ein Sachbuch (Niemitz, C. (Hrsg.): Das Regenwaldbuch. Berlin; Hamburg: Parey, 1991).

1990-93: Tutor im Grundpraktikum Verhaltensbiologie an der Freien Universität Berlin

1999: Mitarbeit (Lehre) am Graduiertenkurs „Methodik der Nutztierethologie“ der Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaft an der Universität Hohenheim.

E-Mail: Sven.Hansen@bigfoot.de

Danksagung

Mein Dank gilt allen, ohne deren Hilfe und Ratschläge diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Mein Doktorvater Prof. „Ebbi“ von Borell stand mir bei meiner Promotion immer mit Rat und Tat zur Seite. Er ließ mir freie Hand und half, wenn ich mit meinem ‘Latein am Ende’ war.

Im Rahmen meiner Datenaufnahme am Naturwissenschaftlichen Zentrum Merbitz haben mir Jan van Beek, Matthias Ahrens und Volker Kutzner beim Umbau der Buchten, beim Wiegen der Tiere und bei der Betreuung der Tiere tatkräftig geholfen. Herr Buchte sorgte dafür, daß die Experimente störungsfrei durchgeführt werden konnten.

Ich danke allen Mitarbeitern des Instituts für Tierzucht und Tierhaltung mit Tierklinik für die herzliche Aufnahme und für die vielen großen und kleinen Hilfestellungen. Besonders erwähnen möchte ich hier Frau Nitzer und Frau Gussek.

Prof. Dr. Spilke von der Arbeitsgruppe Biometrie und Agrarinformatik nahm sich viel Zeit, um mit mir alle statistischen Probleme dieser Arbeit ausführlich zu diskutieren.

Das Promotionsstipendium vom Land Sachsen-Anhalt bot mir drei Jahre die finanzielle Unabhängigkeit, um diese Arbeit durchzuführen.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern Ingrid und Rolf Hansen, meinen Großeltern Johanna und Kurt Hansen, sowie Inge und Peter Althof, ohne deren Unterstützung ich diese Arbeit nach Ablauf des Stipendiums nicht hätte beenden können.

Die wichtigste, ‘emotionale’ Unterstützung gaben mir meine Freundin Christine Schweimler und meine Tochter Zara Alexa.